



**På vej mod en by i vandbalance  
regn- og gråvandsrecirkulering på bygningsniveau**

Jensen, Marina Bergen; Prapati,, Bimala ; Raben, Annette ; Eskildsen, Stig

*Publication date:*  
2017

*Document version*  
Også kaldet Forlagets PDF

*Citation for published version (APA):*  
Jensen, M. B., Prapati, B., Raben, A., & Eskildsen, S. (2017). *På vej mod en by i vandbalance: regn- og gråvandsrecirkulering på bygningsniveau*. Miljøstyrelsen.



Miljø- og  
Fødevareministeriet  
Miljøstyrelsen

# På vej mod en by i vandbalance

**Regn- og gråvandsrecirkulering på  
byggningsniveau**

November 2017

Redaktion: IGN, Københavns Universitet

Tekst: Marina Bergen Jensen og Bimala Prapati,  
Københavns Universitet med bidrag fra Annette  
Raben og Stig Eskildsen fra Rambøll til Kapitel 8.

ISBN: 978-87-7120-938-9

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

# Indhold

<b>1.</b>	<b>Forord</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Sammenfatning</b>	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>Summary</b>	<b>9</b>
<b>4.</b>	<b>Introduktion</b>	<b>12</b>
4.1	Regn- og gråvand har potentiale - især hvis det kan opgraderes	13
4.2	Dansk perspektiv på gråvand og sekundavand	16
4.3	Eksempler på genbrug af gråvand i Danmark	16
4.4	Motivation for og holdninger til brug af gråvand	17
<b>5.</b>	<b>Formål</b>	<b>18</b>
<b>6.</b>	<b>Metoder og materialer</b>	<b>19</b>
6.1	Metoder og materialer vedr. formål 1: Teknologiudvikling	19
6.2	Metoder og materialer vedr. formål 2: Infrastruktur	19
6.3	Metoder og materialer vedr. formål 3: Myndighedsaspekter	19
6.4	Metoder og materialer vedr. formål 4: Slutbrugerpræferencer	20
6.5	Materialer og metoder vedr. formål 5: Markedsaspekter og fact-finding mission	20
<b>7.</b>	<b>Teknologiudvikling</b>	<b>21</b>
7.1	Baggrund	21
7.1.1	Valg af vandkvalitetsparametre	21
7.1.2	Systemovervejelser	22
7.2	Ideudvikling	22
7.3	Pilotforsøg – opbygning, forsøgskørsel og resultat	23
7.4	Fuldskalaforsøg – opbygning, forsøgskørsel og resultater	29
7.4.1	Opbygning af forsøgsanlæg	29
7.4.2	Forsøgskørsel, prøvetagning og analyseprogram	31
7.4.3	Resultater fuldskalaforsøg	34
7.4.3.1	Flow gennem DPF-Gråvandstårn	34
7.4.3.2	Fysisk, kemisk og biologisk kvalitet af influent og effluent (Prøve 1-9)	34
7.4.3.3	Resultat af Isco-prøver	44
7.4.3.4	Akkumuleret tørstof i bokse og på net, samt visuel inspektion	45
7.4.4	Diskussion af resultater i fuldskalaforsøg	51
7.4.5	Konklusion og anbefalinger for videre teknologiudvikling	53
<b>8.</b>	<b>Infrastruktur</b>	<b>55</b>
8.1	Sofiebadets vandforbrug og opstilling af scenarier	55
8.2	Vurdering af scenarie 1 (recirkulation af 6,9 m <sup>3</sup> gråvand)	57
8.3	Vurdering af scenarie 2 (recirkulation af op til 6,9 m <sup>3</sup> gråvand)	60
8.4	Vurdering af scenarie 3 (minimal udnyttelse af gråvand)	62
8.5	Sammenligning og konklusion på scenarier	63

<b>9.</b>	<b>Myndighedsaspekter</b>	<b>65</b>
9.1	Danske eksempler på genbrug af gråvand og de tilhørende myndighedsaspekter	65
9.1.1	Fra brusevand til brusevand, RF 2015	65
9.1.2	Recirkulering af vand fra vaskemaskiner, 3B Folehaven (lukket)	67
9.1.3	Fra lyst gråvand til toiletskyllevand, Nordhavnsgrården 2002 - 2013	72
9.1.4	Recirkulering af vand i svømmebassin, Ruds Vedby Friluftsbad	78
9.2	Input fra Embedslægeinstitutionen	80
9.3	Overvejelser om ansøgning til myndigheder om tilladelse til recirkulering af gråvand fra Sofiebadet ved brug af DPF-Gråvand	80
<b>10.</b>	<b>Slutbrugerpræferencer</b>	<b>81</b>
10.1	Hvad siger litteraturen	81
10.2	Egen undersøgelse	82
<b>11.</b>	<b>Markedsaspekter og fact-finding</b>	<b>85</b>
11.1	Etageejendom, Nordhavnsgrården	85
11.2	Ejendom i Kathmandu	88
11.3	Svømmebad, Ruds Vedby Friluftsbad	90
11.4	Husholdning med dårlig vandforsyning	94
<b>12.</b>	<b>Konklusion</b>	<b>97</b>
<b>13.</b>	<b>Referencer</b>	<b>100</b>
<b>Bilag 1.</b>	<b>Roskilde Kommunes tilladelse til RF2015</b>	<b>102</b>
<b>Bilag 2.</b>	<b>Sorø Kommunes tilladelse til Ruds Vedby Friluftsbad</b>	<b>108</b>
<b>Bilag 3.</b>	<b>Udkast til ansøgning om tilladelse til recirkulering af gråvand hos Sofiebadet</b>	<b>131</b>
<b>Bilag 4.</b>	<b>Spørgeskema Folehaven</b>	<b>137</b>
<b>Bilag 5.</b>	<b>Spørgeguide Nepal</b>	<b>144</b>

# 1. Forord

Denne rapport præsenterer resultaterne fra MUDP-projektet "På vej mod en by i vandbalance - regn- og gråvandsrecirkulering på bygningsniveau", der blev gennemført i perioden 2014-2017 i samarbejde mellem Sofiebadet, Rambøll, HOFOR, Wavin og Københavns Universitet.

Projektgruppen har bestået af følgende personer

Anne Poulsen, Sofiebadet  
Sven Karlsen, Sofiebadet  
Julie Swane, Sofiebadet  
Bimala Prajapati, KU  
Per E.R. Bjerager, KU  
Marina Bergen Jensen, KU  
Marianne B. Marcher Juhl, Rambøll  
Annette Raben, Rambøll,  
Stig Eskildsen, Rambøll  
Maj-Britt Bøgeløv Poulsen, HOFOR  
Anja Collin Højen, HOFOR  
Helene Hoffmann, HOFOR  
Thomas Warberg Kähler, Wavin  
Henning Stabell, Wavin  
Ditte Holse, Miljø og Fødevareministeriet

## 2. Sammenfatning

**Relevans.** Mangel på ferskvand udgør en direkte trussel for mange menneskers velfærd, og bidrager til global ustabilitet. Genbrug af vand er en oplagt metode til at få ferskvandsressourcen til at strække længere. Mens opsamling af regnafstrømning er vidt udbredt, er der få eksempler på recirkulering af gråvand, til trods for stabil daglig produktion og lavt indhold af smitstoffer sammenlignet med toiletspildevand. Gråvand betegner almindeligt spildevand fra husholdninger bortset fra toiletspildevand. Efter forureningsgrad skelnes der mellem "lyst gråvand" fra personlig hygiejne (bad, håndvask) og "mørkt gråvand" fra køkkenvask, opvaskemaskine, tøjvask og rengøring. Alle husholdninger producerer gråvand, og gråvand udgør dermed en stabil kilde, der følger vandforbruget. Når grāvandsrecirkulering er begrænset, også i områder hvor der er vandmangel, hænger det sandsynligvis sammen med mangel på simple teknikker, der kan tilpasses husholdninger og andre enkeltbygninger, og som kan levere en vandkvalitet, der er tilfredsstillende for slutbrugerne. Status og vilkår for grāvandsrecirkulering er uddybet i kapitel 4.

**Formål.** Formålet med dette projekt var at udvikle en teknologi til rensning af gråvand fra enkeltbygninger til en så høj vandkvalitet at forsyning til sensitive formål som personlig hygiejne muliggøres, samt at vurdere pladskrav og kompleksitet i systemdesign (infrastruktur) og aspekter omkring sundhedsrisici og vandkvalitet i forhold til at opnå myndighedernes tilladelse. Under vurdering af infrastruktur indgik fordele og ulemper ved at kombinere regnvandsopsamling med gråvand. Et sekundært formål var et afdække slutbrugerpræferencer over for genbrug af gråvand, samt overveje markedsmuligheder for udviklet teknologi. Formålet er beskrevet yderligere i kapitel 5. Det offentlige bad, Sofiebadet, København, der tilbyder brusebade, sauna og hamam, fungerede som hovedcase for teknologiudvikling og infrastrukturvurdering.

**Teknologiudvikling.** Målet med teknologiudviklingen var at udvikle en effektiv renseteknologi, baseret på passive processer uden nogen form for roterende dele, og som kan indpasses på begrænset areal og fungere uden ekspertbistand (kapitel 7). Teknologiudviklingen tog udgangspunkt erfaringerne fra Dobbeltporøs Filtrering (DPF), der renser vejvand i gennemstrømningskassetter, hvor vandet opdeles i tynde lag for effektiv sedimentation og sorption. Da gråvand primært er belastet med organisk materiale var hovedudfordringen at sikre iltforsyning. Dette lykkedes ved at kombinere de tynde strømningslag fra DPF, der sikrer sedimentation og fordeling af forurenede vand over aktive rensflader, med indlejring af iltlommer, der fornyes via batchvis tømning og fyldning. I pilotforsøget afprøvedes ideen med tynde strømningslag, mens ideen med indlejring af iltlommer blev testet i et fuldskaalanlæg til 1 m<sup>3</sup>/t, bestående af otte batches opbygget af otte plastikkasser stablet oven på hinanden, med et samlet biofilmareal på ca. 13 m<sup>2</sup> i en forsøgsperiode på 5 uger. Teknologien betegnes DPF-Gråvand. Som vist i diverse figurer i kapitel 7 blev der efter 2-3 ugers indkøringsperiode opnået stabile og markante rensgrader. Forslag til optimering af anlægget er anført.

**Infrastruktur.** Infrastruktur omkring teknologier til rensning af gråvand blev vurderet dels ud fra tre scenarier for hvordan DPF-Gråvand kan installeres hos Sofiebadet, dels ud fra sammenligning af DPF-Gråvand med andre grāvandsprojekter (kapitel 8). På grund af Sofiebadets store produktion af gråvand fra badene på årligt over 2.500 m<sup>3</sup> er et evt. bidrag fra opsamlet tagvand på årligt omkring 20 m<sup>3</sup> marginalt. I det mest realistiske scenarie hvad angår vandbesparelse, forsyningsformål, pladsforbrug og kompleksitet vurderes det at Sofiebadet ved installation af et DPF-Grāvandsanlæg kan spare 20 % af vandforbruget. I dette scenarie foreslås gråvand opsamlet fra bade og rengøring, og efter rensning genbrugt til tøjvask, rengøring og toiletskyl.

**Myndighedsaspekter.** I Danmark er det kommunen, der skal meddele tilladelse til vandforsyningsanlæg, der er baseret på andre vandkilder end kommunalt forsyningsvand. For at kommunen kan give tilladelse, er det nødvendigt med Miljø- og Fødevareministeriets bemyndigelse til dispensation fra Drikkevandsbekendtgørelsens § 3. Eneste undtagelse er opsamlet tagvand, der må benyttes til forsyning af toiletkummer og vaskemaskiner, såfremt Rørcenteranvisning 003 følges. Tilladelse til brug af rensed gråvand til forsyningsformål skal meddeles på baggrund af en ansøgning, før et anlæg må tages i brug. Kommunen kan konsultere embedslægeinstitutionen i forbindelse med sagsbehandlingen. Eksempler på gråvandsanlæg i Danmark er Nordhavnsgråden, København, der i en periode på ca. 10 år rensede lyst gråvand til forsyning af toiletter, indtil anlægget indstilledes på ubestemt tid på grund af knækket krankaksel og manglende endelig myndighedstilladelse, Boligforeningen 3Bs fællesvaskeri i Valby, der i en periode recirkulerede vaskevandet over et biologisk filter indtil der opstod lugtgener, samt et bruseranlæg på Roskilde Festivalen 2015, som recirkulerede det brugte vand over et Grundfos-anlæg til nyt vand til bruserne. For Nordhavnsgråden findes en del data på opnået vandkvalitet, samt en dialog med myndighederne. Dette er resumeret i kapitel 9. For forsøget på Roskilde Festivalen til recirkulering af bruservand er de tilhørende myndighedstilladelser resumeret. Der findes også et anlæg i Ruds Vedby, der renser vand i et stort Friluftsbad over et biologisk anlæg. Selvom svømmebadsvand ikke kan betegnes som gråvand, allerhøjest ultra-lyst gråvand, er det interessant at friluftsbadets har fået tilladelse til at benytte biologisk rensning i stedet for klorning. Tilladelsen er baseret på en risikovurdering samt et monitoringsprogram og et beredskab. Dette resumeres i kapitel 9 og kopi af diverse dokumenter er vedhæftet som appendiks. I kapitel 9 resumeres den dialog der har været med embedslægeinstitutionen i forbindelse med nærværende projekt. Med udgangspunkt i DPF-Gråvand (kap. 7), overvejelser omkring systemdesign (kap. 8), og de nævnte tilladelser (kap. 9) er der afslutningsvis lavet udkast til en ansøgning for Sofiebadet om tilladelse til recirkulering af opsamlet vand fra brusere, håndvaskevand og rengøringsvand til forsyning af toiletter og vaskemaskiner. Dette udkast er vedhæftet som appendiks.

**Slutbrugerpræferencer.** Brugerholdninger er afgørende for mulighed for recirkulering af gråvand. I kapitel 10 gives et overblik over viden om slutbrugerpræferencer baseret på litteraturen. Bekymring for smitterisici er den dominerende barriere. Der blev i regi af projektet indhentet yderligere viden om slutbrugerpræferencer i forhold til genbrug af gråvand, dels i et rigt land som Danmark med god offentlig vandforsyning, dels i et fattigt land som Nepal med mangelfuld offentlig vandforsyning. På baggrund af spørgeskema- og interviewundersøgelse omfattende i alt 62 respondenter konkluderes det, at interessen for at spare på vandet og passe på miljøet ved at genbruge gråvand er nogenlunde lige stor i København som i Kathmandu, men i København betyder myndighedernes godkendelse af kvalitet af vandet fra en evt. gråvandshane i hjemmet mest for trygheden omkring genbrug, mens det for de udspurgte Kathmandu-borgere betyder mest om der kommer et ekstra filter på gråvandshanen.

**Markedsaspekter og factfinding.** Når DPF-Gråvand sammenlignes med Nordhavnsgrådens gråvandsanlæg til rensning af lyst gråvand til toiletskyllevand baseret på Rotating Biological Contactors, Ruds Vedby Friluftsbads biologiske renseanlæg til recirkulering af svømmebadsvand uden klor samt firmaet Nira's anlæg til rensning af husholdningsgråvand for en ejendom i Kathmandu, Nepal, ved hjælp af anaerob fældningstank efterfulgt af tagrørsbed, ser DPF-Gråvand ud til at være et godt alternativ i det første og sidste tilfælde, mens Friluftsbadet rummer så store vandmængder at DPF-Gråvand kun kan følge med hvis teknikken installeres i langt større bokse end testet i dette projekt. I 2015 foretog Bimala Prajapati en undersøgelse af vandsektoren i Kathmandu, Nepal og identificerede potentielle samarbejdspartnere for videreudvikling og markedsføring af DPF-Gråvand til brug i Nepal. I forbindelse med vurdering af markedspotentialer generelt er der i regi af projektet udarbejdet et forslag til en nedskalaret version af DPF-Gråvand, der tænkes egnet til recirkulering af gråvand i husholdninger med mangelfuld vandforsyning. I dansk regi vurderes Sofiebadet fortsat at udgøre et godt omdrej-



ningspunkt for markedsmodning af den udviklede DPF-Gråvandsprototype. Dette er uddybet i kapitel 11.

### 3. Summary

**Relevance.** Lack of fresh water poses a direct threat to the welfare of many people and contributes to global instability. Recycling of water is an obvious way to extend freshwater resources. While the collection of stormwater is widely used, there are few examples of recycling of greywater, despite stable daily production and low levels of contaminants compared with wastewater. Greywater comprises ordinary wastewater from households except toilet wastewater. Based on the degree of pollution, a distinction is made between "light grey water" from personal hygiene (bath, sink) and "dark gray water" from kitchen sinks, dishwashers, laundry and cleaning. All households produce greywater. Greywater is therefore a stable source produced in amounts that follows the water consumption. When greywater recirculation is limited, even in areas where there is water shortage, a likely reason is lack of simple techniques that can be adapted to households and other individual buildings and which can deliver a water quality that is satisfactory to end users. The status and conditions for greywater recycling are explained in Chapter 4.

**Purpose.** The purpose of this project was to develop a technology for cleaning water from single buildings to such high water quality that supply for sensitive purposes such as personal hygiene is possible, and to assess space requirements and complexity in system design (infrastructure) and aspects of health risks and water quality in relation to obtaining permission from authorities. Infrastructure assessment included the advantages and disadvantages of combining stormwater harvesting with greywater recycling. A secondary purpose was to reveal end user preference to recycling of greywater, and to consider market opportunities for developed technology. The purpose is further described in Chapter 5.

**Technology development.** The goal of the technology development was to develop an efficient purification technology based on passive processes without any rotating parts, which can be fitted on a limited area and operate without expert assistance (Chapter 7). The technological development was based on the experience from Dual Porosity Filtration (DPF), designed for cleansing of stormwater runoff from roads by means of throughput cassettes where the water is divided into thin layers for efficient sedimentation and sorption without clogging. Since greywater is primarily loaded with organic matter, the main challenge was to ensure oxygen supply. This was achieved by combining the thin flow layer principle from DPF with active cleaning surfaces, including a passive way to renew oxygen in the sequential filling and drainage batch operation mode. In the pilot test, the idea of thin flow layers was tested, while the idea of oxygen trapping was tested in a full-scale 5 weeks test system at a greywater treatment rate of  $1 \text{ m}^3 / \text{day}$ , consisting of batches established by means of eight boxes stacked on top of each other with a total biofilm of approx.  $13 \text{ m}^2$ . The technology is referred to as DPF-greywater. As shown in various figures in Chapter 7, after a period of 2-3 weeks the biofilm seemed to have established, and stable and significantly improved water qualities were achieved. Suggestions for optimization of the plant are listed.

**Infrastructure.** Infrastructure for greywater treatment technologies was assessed on the basis of three scenarios for how DPF-greywater can be installed at Sofiebadet (chapter 8). It was also assessed from the comparison of DPF-greywater with other greywater treatment technologies (chapter 8). Due to the Sofiebadets' large production of greywater from the baths of more than  $2,500 \text{ m}^3$  annually, a possible contribution from stormwater harvesting of up to  $20 \text{ m}^3$  annually was considered marginal. In the most realistic scenario regarding water saving, water supply purposes, space requirements and complexity, it was assessed that with a DPF-greywater technology Sofiebadet may save 20 % of the current tap-water consumption. In this

scenario, greywater is collected from bathing and cleaning, and after cleansing recycled for laundry, cleaning and toilet flushing.

**Regulatory Aspects.** In Denmark, the municipality must grant a permit to employ water supply systems based on water sources other than municipal supply water. In order for the municipality to grant the permission, the Ministry of the Environment and Food of Denmark first have to approve an exemption from paragraph 3 of the Danish Drinking Water Regulation. The only exception from this rule is stormwater harvesting for supply of laundry machines and toilets cisterns, which is permitted provided a guideline from Technological Institute (Rørcenteranvisning 003) is followed. Permission to use treated greywater for supply purposes must be notified on the basis of an application before a plant is to be set in operation. The municipality can consult the Embedslægeinstitutionen. Examples of greywater systems in Denmark are Nordhavnsgården, Copenhagen, which for a period of approx. 10 years treated light greywater to be reused for toilet flushing, until the plant was suspended for an indefinite period due to a broken crankshaft and lack of permit; the housing association 3B's joint laundry in Valby, which for several years recycled the water from laundry machines over a biological filter for reuse in the laundry, until odors arose; and a shower system at Roskilde Festival 2015, where the idea was to reuse shower-water after treatment in a Grundfos system based on membranes. For Nordhavnsgården there are some data on the obtained water quality, as well as information on dialogue with the authorities. This is summarized in chapter 9. For the attempt at the Roskilde Festival to recycle shower water, the corresponding authority permissions have been summarized. There is also an example from Ruds Vedby, where water in an open-air swimming pool is recycled over a biological plant. Although swimming pool water cannot be described as greywater as such, it is interesting that the outdoor swimming pool has been allowed to use biological cleaning instead of chlorination. The permit is based on a risk assessment as well as a monitoring program and a procedure for emergency cases. This is summarized in Chapter 9 and copies of various documents are attached as an appendix. Chapter 9 also summarizes the dialogue that has been taking place with the Embedslægeinstitution in connection with this project. Based on DPF-greywater technology (chapter 7), considerations on system design (chapter 8), and the above mentioned permissions (chapter 9), an application on behalf of Sofiebadet has been drafted for permission to recycle greywater from the bathing area over a DPF-greywater system for reuse as water for toilet flushing, laundry and cleaning. This draft is attached as an appendix.

**Market aspects and fact finding.** When DPF-Gråvand water is compared to Nordhavnsgårdens gray water system for cleaning light gray water for toilet flushing based on Rotating Biological Contactors, to Ruds Vedby Friluftsbad's biological treatment plant for the recirculation of swimming water without chlorine, and to the company Nira's household cleaning plant for a property in Kathmandu, Nepal, using anaerobic precipitation tank followed by gravel bed, it seems that DPF-Gråvand is a good alternative option in the first and last cases while the outdoor swimming pool holds so large amounts of water that DPF-Gråvand can only manage if the technique is installed in far larger boxes than what was the case in this project. By 2015, Bimala Prajapati conducted a survey of the water sector in Kathmandu, Nepal, and identified potential collaborators for further development and marketing of DPF-Gråvand for use in Nepal. As part of the market potential assessment, a proposal for a scaled down version of DPF-Gray water that is considered suitable for recycling of gray water in households with deficient water supply. In a Danish context, Sofiebadet is still considered a good focal point for market demand for the developed DPF-Gråvandsprototype. This is elaborated in Chapter 11.

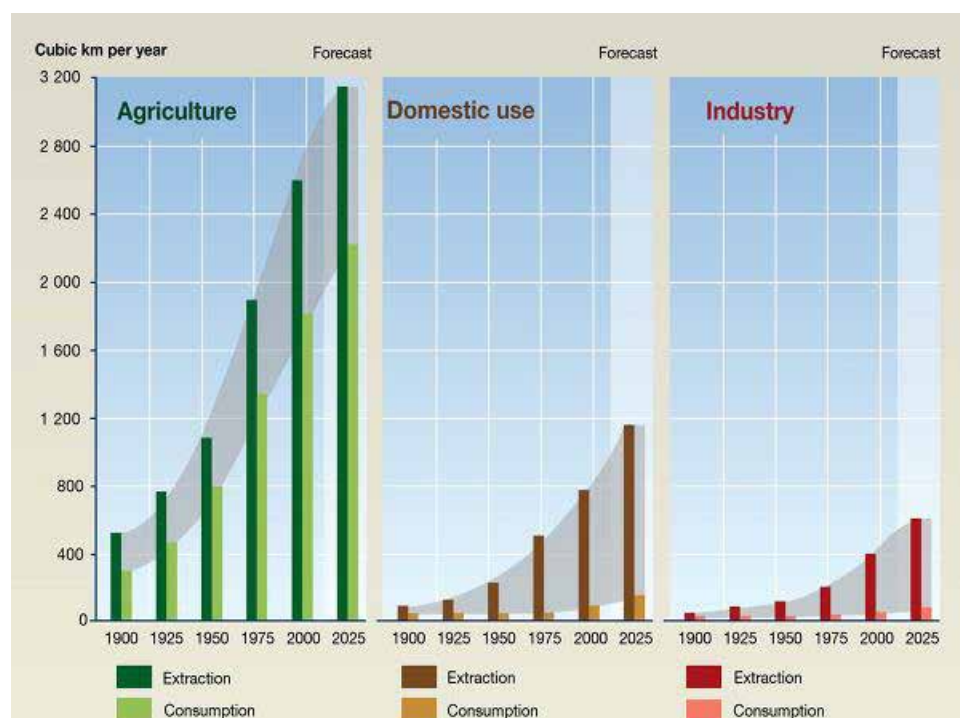
**End User Preferences.** End user preferences are crucial for successful recycling of grey water. Chapter 10 gives an overview of knowledge about end user preferences based on a literature review. Concern for infectious diseases is the dominant barrier. The project has generated new knowledge on this issue both in a rich country setting like Denmark with good public water supply, and in a poor country setting like Nepal with inadequate public water supply. Based on a

questionnaire and interview survey comprising a total of 62 respondents, it is concluded that the interest in saving water and taking care of the environment by recycling greywater is rather high and comparable in Copenhagen and Kathmandu. In Copenhagen the most important issue for improving preferences would be authorities' approval of water quality, while in Kathmandu it was considered more important to add an extra filter on the greywater tap in the homes.

## 4. Introduktion

Mangel på ferskvand er en alvorlig trussel i mange regioner og for verden som helhed. Vandmangel kan true menneskets livsgrundlag direkte og føre til konflikter omkring vandressourcer, der i sidste ende kan få samfund til at bryde sammen med flygningestrømme og øget global usikkerhed til følge (FN, 2016). Med klimaforandringer, fortsat urbanisering og forøget velfærd vokser presset på klodens ferskvandsressourcer fortsat. Der er derfor behov for metoder, der kan sikre en mere effektiv vandudnyttelse inden for alle sektorer (Figur 4.1). Det handler både om at reducere det enorme vandspild i distributionssystemerne (Figur 4.1), og om at udnytte hver dråbe bedre, dels gennem mere vandeffective produktionssystemer, f.eks. mere crop per drop i landbruget, og ved at genbruge spildevand. Det er i forhold til sidstnævnte at regn- og gråvand kommer ind i billedet.

Regnafstrømning og gråvand kan opfattes som en form for sekundavand, dvs. vand der ikke umiddelbart har drikkevandskvalitet. Sekundavand er interessant fordi det er vand, der efter en mere eller mindre omfattende renseproces, kan bruges til vandforsyning af forskellig art. Brugen af sekundavand kan reducere menneskets træk på de naturlige ferskvandsforekomster i form af floder, søer og grundvand. Det er vigtigt at være opmærksom på at kravene til vandkvalitet svinger fra land til land.



Figur 4.1: Den globale stigning i vandindvinding og forbrug inden for landbrug, husholdninger og industri i perioden 1900 – ca. 1999, og ekstrapoleret til 2025. De grå bånd viser vand, der er indvundet men ikke registreret som forbrugt, primært på grund af utætte distributionssystemer, sekundært på grund af illegale tilkoblinger (non-revenue water) især i byområder. Kilde: Shiklomanov, 1999.

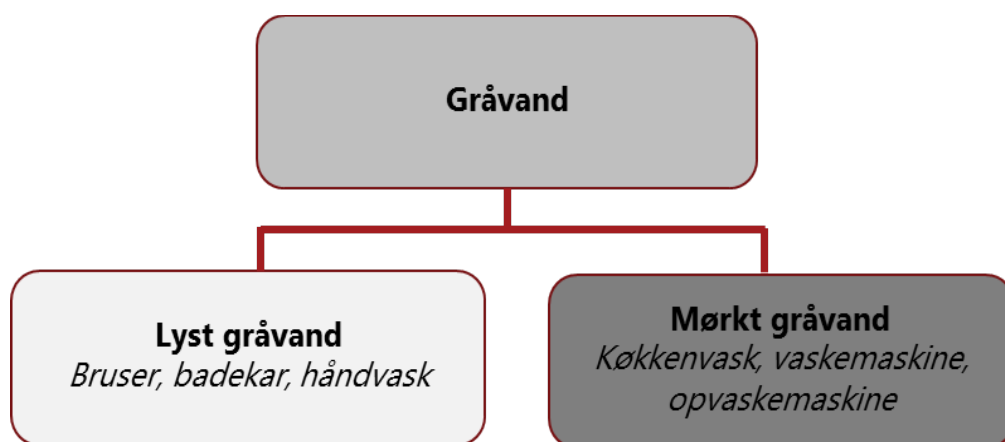
Opgradering af rensede spildevand til forsyningsformål foregår allerede i stor stil, bl.a. i Beijing, Kina, hvor en betydelig andel af byens vandforsyning er baseret på rensede spildevand, der underkastes en ekstra rensning med kemisk fældning og filtrering. Det rensede vand bruges primært til vanding af landbrugsafgrøder og forsyning af byens floder og søer. I Kina findes også

anlæg baseret på omvendt osmose kan producere drikkevand. Der er der dog ikke stor afsætning. Samme type anlæg og samme problem med manglende lyst til at drikke vandet har man i Singapore (Liu og Jensen, 2017). Anlæg til afsaltning af havvand, der kræver et betydeligt energiinput, spiller en afgørende rolle for vandforsyning mange steder i verden, bl.a. i Saudi-arabien, De Forenede Emirater og Israel. Fælles for disse sekundavandsanlæg er at de er store, forbundet til et centralt forsyningssystem, og kræver specialiserede operatører. I modsætning hertil rummer regn- og gråvand et potentiale for at fungere som små, decentrale anlæg, og kan derfor vinde udbredelse også som stand-alone løsninger og uden store investeringer. Sammenlignes regn og gråvand har gråvand den fordel at det produceres dagligt i mængder der typisk afspejler vandforbrug, men der er til gengæld behov for pålidelige og enkel teknologi, hvis gråvandet skal kunne bruges til andet end toiletskyl og vanding.

#### 4.1 Regn- og gråvand har potentiale - især hvis det kan opgraderes

Opsamling af regnvand, først og fremmest afstrømmet fra tage, er vidt udbredt, og en almindelig forsyningskilde mange steder, bl.a. Sydeuropa og Australien. Her benyttes tagvandet direkte til drikkevandsformål, hvilket der er dokumentation for ikke resulterer i overhyppighed af mavesygdomstilfælde (Naturstyrelsen, 2011). I Danmark er tagvand godkendt til forsyning af toiletkummer og vaskemaskiner, såfremt Rørcenteranvisning 003 følges (Teknologisk Institut, 2012).

Gråvand omfatter alt spildevand fra husholdninger bortset fra toiletskyl. Der skelnes mellem lyst og mørkt gråvand, hvor lyst gråvand er fra personlig hygiejne i badeværelser (bruser, karbad, håndvask), mens mørkt er fra køkkenvask, vaskemaskiner og rengøring (Figur 4.2). Lyst gråvand er typisk mindre forurenat end mørkt gråvand, men begge typer er langt mindre belastet en sort spildevand, der også indeholder toiletspildevand. Mængden af gråvand en husholdning producerer afhænger af det samlede vandforbrug, levestandard, m.v. I et review-papir konkluderes det at gråvand typisk udgør omkring 2/3 af en husholdnings spildevand, og hvis der er tale om husholdninger med vacuum-toiletter kan det være op imod 90 % (Ghaitidak and Yadav 2013). Ifølge samme kilde er gråvandet almindeligvis nogenlunde ligeligt fordelt på lyst og mørkt gråvand. Opsamling af gråvand er en stabil vandkilde, der fluktuerer i takt med husholdningens vandforbrug. Genanvendelse af gråvand rummer derfor et betydeligt potentiale for at opfylde FNs verdensmål nr. 6 om at sikre tilgængelighed og bæredygtig forvaltning af vand og sanitet for alle (Hildebrandt, 2016).



Figur 4.2: Hovedkilder til gråvand. Gråvandets belastningsgrad afhænger af anvendelsen, og typisk resulterer spildevand fra personlig hygiejne (bruser, badekar, håndvask) i lyst og mindre beskidt vand, end spildevand fra køkkenvask, vaskemaskine og opvaskemaskine, der er mørkere og mere beskidt.

Selv om gråvand er renere end toiletspildevand, bidrager det alligevel væsentligt til forureningen i spildevand fra husholdninger, for dels er det ikke rent, dels produceres det i større mængde. I en amerikansk undersøgelse fandt man at 55 – 70 % af total suspenderet stof (TSS) og biologisk iltforbrug (BOD) i en husholdnings spildevand stammede fra gråvand og altså kun en mindre del fra toiletspildevandet (Friedler, 2004). I samme undersøgelse blev køkkenvasken udpeget som en dominerende kilde med 42 % af total COD og 48 % af total BOD, mens vaskemaskinen bidrog med 22 % COD, samt en stor mængde fosfat, og håndvasken resulterede i det mindst belastede gråvand. Det specifikke forureningsindhold vil dog altid afspejle den konkrete brug af vandet. En oversigt over sammensætningen af gråvand fra forskellige kilder er vist i tabel 4.1, udarbejdet af fbr, der er en tysk non-profit interesseorganisation for professionelle inden for genbrug af vand og anvendelse af regnvand ([www.fbr.de](http://www.fbr.de)). Af de to søjler yderst til højre i tabel 4.1 ses at det kemiske iltforbrug, COD, og dermed det samlede organiske indhold, er på samme niveau i gråvand og husholdnings spildevand, mens BOD til gengæld ligger på et højere niveau i gråvand. Det ses derudover at spildevandet især indeholder flere næringssalte (P, N) og flere bakterier. Når gråvand sammenlignes med gråvand ses det at lyst gråvand (bruser, badekar, håndvask) ligger på et lavere niveau for alle parametre, men at variationsintervallet er stort og overlappende med mørkt gråvand.

I regioner med knappe ferskvandsressourcer som Californien og visse steder i Australien eller regioner hvor vandforsyningen har et ringe serviceniveau som eksempelvis Etiopien og Nepal er genbrug af gråvand almindelig udbredt (Eriksson et al, 2009). Her er der typisk tale om såkaldt nedgraderingsanvendelse, hvor gråvandet anvendes til stadig mindre risikable formål med ingen eller begrænset rensning af vandet mellem de forskellige anvendelser. Eksempel på nedgraderingsbrug: vand fra personlig hygiejne opsamles og benyttes direkte til iblødsætning af vasketøj og derefter toiletskyl eller vanding af afgrøder. Hvis gråvandet opgraderes gennem rensning kan det dels bruges i regioner, hvor der er skrappe krav selv til toiletskyllevand som i eksempelvis Danmark, hvor toiletkummen skal fremstå med klart vand, dels til mere sensitive formål, f.eks. til tøjvask og evt. personlig hygiejne. Eksempel på opgraderingsbrug: gråvand fra bad og håndvask opsamles og bruges til forsyning af toiletter, vaskemaskiner og bade faciliteter. Mulighederne afhænger af opnået vandkvalitet og lokale kvalitetskrav.

Tabel 4.1: Sammensætning af gråvand fra forskellige kilder i tyske husholdninger, baseret på 10 – 100 målinger for hver parameter (gennemsnit anført i parentes), og sammenlignet med gennemsnitligt indhold i husholdningsspildevand. Fra [www.fbr.de](http://www.fbr.de), baseret på to tyske referencer (Nolde, 1995 og Bullermann et al., 2001).

	Bruser, badekar, og håndvask	Bruser, badekar, håndvask og vaskemaskine (med blevask)	Bruser, badekar, håndvask, vaskemaskine og køkken	Husholdnings-spildevand
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	85 – 200 (111)	125 – 250	250 – 550 (360)	267
COD (mg/L)	150 – 400 (225)	250 – 430	400 – 700 (535)	533
TSS (mg/L)	30 – 70 (40)	i.a.	i.a.	200
N <sub>total</sub> (mg/L)	4 – 16 (10)	i.a.	10 – 17 (13)	67
P <sub>total</sub> (mg/L)	0,5 – 4 (1,5)	i.a.	3 – 8 (5,4)	15
Total coliforme (MPN/mL)	10 <sup>1</sup> - 10 <sup>5</sup> (10 <sup>5</sup> )	10 <sup>2</sup> – 10 <sup>6</sup>	10 <sup>2</sup> – 10 <sup>6</sup>	10 <sup>4</sup> – 10 <sup>7</sup>
E. coli (MPN/mL)	10 <sup>1</sup> - 10 <sup>5</sup> (10 <sup>5</sup> )	10 <sup>1</sup> - 10 <sup>5</sup>	10 <sup>2</sup> – 10 <sup>6</sup>	10 <sup>4</sup> – 10 <sup>7</sup>

Gråvandets sammensætning varierer med kilden til vandet. Opgradering af gråvand kræver at forureningsindholdet bringes ned, så vandet for det første er klart frem for gråt, og for det andet at indholdet af mikrobiologiske og i nogle tilfælde også fysisk-kemiske parametre reduceres.

Et koncept for opgradering er illustreret Figur 4.3. Her opsamles både regnvand og gråvand. Regnvandets funktion er dels at kompensere for vandtab i gråvandssystemet, dels at skylle salte ud. Ved at opbevare det urensede regn- og gråvand i samme tank frem for i hver sin tank, kan der spares plads. Når vandet renses før forbrug frem for før opbevaring, er det kun nødvendigt med en mindre rentvandstank, der kan udjævne udsving i det løbende forbrug. En forudsætning for at realisere princippet vist i Figur 4.3 er en renseteknologi, der er så effektiv at den resulterende vandkvalitet kan bruges til alle de tiltænkte formål og at produktionsstigheden kan følge med forbruget. Hvis der alternativt skal opereres med flere vandkvaliteter vil det være nødvendigt med flere tanke og mere avanceret styring for at sikre match mellem forbrug og beholdningen af rent vand (Rygaard et al. 2014). Når regn- og gråvand opbevares urenset i samme tank er kølig og mørk opbevaring vigtig for at begrænse bakterievækst i tanken. En udendørs, nedgravet tank vil være praktisk og anvendelig til formålet. Varmevekslere for evt. energivinding fra gråvandet skal etableres før gråvandet sendes til regnvandstanken. Udover pladsbesparelse vil en fordel ved fælles opbevaring af beskidt regn- og gråvand være at de betydelige udsving i kvaliteten af gråvand, der typisk ses over døgnet og ugen, udjævnes, fordi tanken sikrer opblanding med øvrigt vand i tanken, samt nogen bundfældning. Det vand, der sendes ind i renseenheden, vil derfor have en mere ensartet sammensætning, hvilket igen giver en mere stabil renseproces, fordi biofilmen tilpasses bedre.

Løsningen illustreret i Figur 4.3 resulterer i maksimal vandbesparelse, men stiller store krav til renseteknologien. Tanken fyldes med både lyst og mørkt gråvand, og det rensede vand skal opgraderes til højeste forsyningsformål, nemlig personlig hygiejne. Det kan teknisk lade sig gøre, men spørgsmålet er om det bliver en økonomisk og operatørmæssig overkommelig løsning.



Figur 4.3: Illustration af kombineret regn- og gråvandsudnyttelse. Regnafstrømning opsamles fra omkringliggende tage og belægninger til underjordisk tank (råvandstank). Samme tank modtager gråvand fra bygningen. Forbrugsvand tages fra lille tank (rentvandstank, ikke vist), der fyldes efter rensning i renseenhed (T). Vand fra rentvandstanken kan bruges til alle formål, bortset fra drikkevand og madlavning (opvaskemaskine og håndvask ikke vist). Vand fra toilet sendes til kloak (S). Vandværksvand er back-up system og fylder tanken op i tilfælde af for lang tørvejrperiode. Efter Liu og Jensen, 2013.



## 4.2 Dansk perspektiv på gråvand og sekundavand

Mange steder i verden er genbrug af regn- og gråvand en selvfølge, drevet af simpel nødvendighed. Selv om Danmark som helhed er begunstiget med en rigelig grundvandsressource, er der alligevel en vis interesse i at spare på denne ressource, især omkring København og Århus, hvor der trækkes på grundvandsmagasiner i stor afstand af byen, og omkring industrier med et stort vandforbrug, hvor der kan være et økonomisk incitament for at erstatte brugen af drikkevand med andre vandkvaliteter. Interessen samler sig dog først og fremmest om andre sekundavandskilder end gråvand. Dette fremgår af en rapport fra Naturstyrelsen "Udredning om brug af sekundavand i Danmark" fra 2014 (Naturstyrelsen, 2014a), hvor følgende sekundavandskilder gennemgås: grundvand fra grundvandssænkning, dræn og afværgboringer, overfladevand fra vandløb, søer og havet, vand afledt til kloak såsom kloakoverløb, udløb fra renseanlæg og processpildevand fra virksomheder, og endelig regnafstrømning fra tage og befæstede arealer. Rapporten peger først og fremmest på et potentiale indenfor virksomheder til brug af regnafstrømning og procesvand, mens lovgivningsmæssige barrierer knyttet til bekymring for sundhedsparametre begrænser mulighederne indenfor husholdninger. Ifølge rapporten efterlyser flere kommuner dog mulighed for anvendelse af regnafstrømning fra tage til flere forsyningsformål end toiletskyl i bygninger med offentlig adgang. I rapporten vurderes det også at regnafstrømning fra befæstede arealer, og altså ikke kun tagvand, har et genanvendelsespotentiale, som minimum til toiletskyl og efter behandling muligvis også til tøjvask og grundvandsdannelse.

Ideen med at kombinere gråvandsrecirkulering med opsamling af regnafstrømning som vist i Figur 18 er direkte belyst i en anden rapport, nemlig "Sekundavand i Nordhavn – En forundersøgelse til strategi for vandleverance" fra 2013 (Rygaard et al., 2013). Her indgår denne mulighed som ét af fire scenarier, hvor de tre øvrige er baseret på forurenede grundvand og afsaltet havvand. Da teknologier til gråvandsrensning i rapporten vurderes at være på et umodent stadium, er regn- og gråvandsscenarioet ikke analyseret i samme omfang som de tre øvrige, men medtaget for at illustrere et sekundavandsinitiativ, målrettet en dansk eksportdagsorden, hvor teknologileverandører har brug for et hjemmemarked, der kan fungere som udstillingsvindue. Rapporten peger på flere interessante aspekter af regn- og gråvandsrecirkulering. Først og fremmest opererer scenariet med et mål om at reducere drikkevandsforbruget i boligblokke og mindre erhvervsejendomme med 80-90 %. Desuden anføres at systemet er decentralt og vil kunne overføres til at dække hele eller dele af andre byer, samt at løsningen kan integreres med klimatilpasning, genvinding af energi og næringsstoffer, og endeligt at anlæggene vil kunne tilpasses forskellige skalaer, fra enkeltopgange til hele karrierer.

## 4.3 Eksempler på genbrug af gråvand i Danmark

I Danmark findes kun få eksempler på gråvandsanlæg, når der ses bort fra industrianlæg. Det er primært på industrivaskerier, at genbrug af gråvand er udbredt (Naturstyrelsen 2016). Dette er i kontrast til, at der findes flere hundrede eksempler på opsamling af tagvand til toiletskyl og tøjvask (Naturstyrelsen 2014, b). Det skal dog bemærkes at der i slut 80'erne og op igennem 90'erne og ind i 00'erne var en bølge af gråvandsanlæg; de fleste gennemført med offentlig støtte (Miljøstyrelsen, 2001 og 2003). Hvor mange af disse der fortsat er i brug er ikke undersøgt, men en del er med sikkerhed lukket.

Et eksempel på et småskalaanlæg er fællesvaskeriet ved boligforeningen 3B-Folehaven i Valby. Her recirkulerede man i en årrække vaskevandet over et biologisk renseanlæg, indtil der af uforklarlige årsager opstod lugtgener. Et andet eksempel er etageejendommen Nordhavnsgården på Østerbro i København, hvor lyst gråvand fra håndvaske og brusekabiner opsamledes i tanke i kælderen og efter rensning i et tysk system bestående af tre serieforbundne roterende

bio-reaktorer, "Rotating Biological Contactor", efterfulgt af lameludskiller, sandfilter og UV-behandling blev benyttet til toiletskyl. Systemet var i funktion i ca. 10 år, men har siden 2013 ligget stille. Ifølge ejendomsfunktionæren er årsagen at krankakslen, der roterede bio-reaktorerne, da knækkede for tredje gang.

I 2015 åbnedes et anlæg med recirkulering af badevand, nemlig Friluftsbadet i Ruds Vedby i Sorø Kommune, hvor en ESCO-aftale om at spare på vand, strøm og klor førte til etablering af et biologisk renseanlæg. Anlægget er udviklet af det tyske firma Polyplan ([www.polyplan-gmbh.de](http://www.polyplan-gmbh.de)) og teknologien er udbredt i en række udendørs svømmebade i Tyskland og Schweiz. Selv om vand i et svømmebassin ikke defineres som gråvand, er det i nogen grad sammenligneligt med lyst gråvand, idet døde hudceller, hår, urin og af og til fæces havner i vandet i små mængder. Ved sæsonstart fyldes anlæggets to svømmebassiner med vandværksvand, der er ekstra rensat for fosfor. Herefter skal der i løbet af sæsonen kun fyldes på med spædevand. Badevandet fra de to bassiner recirkuleres kontinuerligt over renseanlægget, der er 100 % biologisk og uden brug af hverken UV eller klor. Der er strenge regler om ikke at bringe fosfor ind på området i form af madvarer, ligesom jord og levende planter kun findes i stor afstand fra vandet. Fosfor er den største bekymring, fordi selv små mængder kan udløse algeproblemer. Anlægget er godkendt af sundhedsmyndighederne, der har givet godkendelsen på en række særlige krav og vilkår, bl.a. et intensivt prøvetagningsprogram, regler for samlet antal badende, og procedurer for 'evakuering' af badegæster i tilfælde af at der sker uheld med fæces eller opkast, m.v. (Se yderligere i kapitel 9).

#### **4.4 Motivation for og holdninger til brug af gråvand**

I Danmark er der en vis interesse for regn- og gråvandsudnyttelse, og med Ruds Vedby Friluftsbad også en åbning fra myndighedernes side i forhold til biologisk rensning af badevand i et offentligt anlæg. Firmaet Orbital Systems® fra Sverige, der leverer en brusekabine med rensesystem indbygget i kabinens bund for direkte recirkulering af brusevandet under badningen, er også interessant, selv om det så vidt vides ikke er godkendt til brug i offentlige anlæg i Danmark. Med udvikling af mere kompakte og driftssikre renseteknologier, og under forudsætning af overkommelige programmer til løbende dokumentation af vandkvalitet, kan regn- og gråvandsanlæg måske vinde større udbredelse i Danmark, især hvis det er praktisk muligt at opgradere både lyst og mørkt gråvand til kvalitet egnet til personlig hygiejne (brusebad, håndvask). Det vil være en fordel for Danmarks grundvandsressourcer og kan åbne op for eksport af danske løsninger og videndeling med resten af verden. På globalt plan er der generelt en langt tydeligere motivation, fordi de lokale vandressourcer ofte er ringere end i Danmark.

Udover motivation og praktiske løsninger er der endnu en forudsætning, der skal være opfyldt, for at sekundavandskilder som regnafstrømning og gråvand kan vinde større udbredelse. Det er at slutbrugerne har en positiv holdning, og kan acceptere det rensede gråvand vand som en forsyningskilde.

## 5. Formål

Projektets udsprang af en ambition om at fastholde fokus på realisering af det uudnyttede forsyningspotentiale, der ligger i recirkulering af regn- og gråvand på bygningsniveau. De specifikke projektformål var, jv. MUDP-ansøgningen:

- 1) At beskrive, illustrere og vurdere nødvendig infrastruktur for opsamling, magasinering, distribution og monitorering af regn- og gråvandsrecirkulering I følgende tre bygningseksempler: etageboligblok, en-families bolig, og offentlig bad, samt gennem interviews og litteraturstudier at belyse slutbrugernes holdninger til vandforsyning delvist baseret på regn- og gråvand. Resultatet er en rapport, der kan danne grundlag for beslutning om videre aktiviteter.
- 2) At afprøve metoder til rensning af opsamlet regnafstrømning og gråvand ved hjælp af modulkassetter til dobbeltporøs filtrering (dpf), der modificeres til at understøtte udvikling og kontrol af biofilm, foruden sedimentation og sorptionsprocesser, og i dialog med Sundhedsstyrelsen at vurdere vandkvaliteter og risici i forbindelse med evt. videreudvikling og udbredelse af metode. Resultatet er en rapport, der kan danne grundlag for beslutning om videre aktiviteter.
- 3) At formidle resultater til andre danske interessenter, samt at vurdere vilkår for tilsvarende løsninger i international kontekst gennem litteratur og fact-finding missioner til udlandet, sandsynligvis Kina.

Alle tre formål er afrapporteret samlet i nærværende rapport. Resultaterne præsenteres i rækkefølgen: teknologiudvikling (formål 2), infrastrukturovervejelser (formål 1), myndighedsaspekter omkring vandkvalitet (formål 1 og 2), slutbrugerholdninger (formål 1), og markedsaspekter (formål 3).

Det skal bemærkes at der er foretaget en justering af vægtningen af de forskellige formål i løbet af projektet. Med beslutningen om at benytte Sofiebadet som hovedcase er bygningseksemplet 'offentligt bad' fremhævet på bekostning af de to øvrige bygningseksempler. Dog er alle tre bygningseksempler belyst i kapitel 11, hvor den ny-udviklede typologi DPF-Gråvand er gennemgået som alternativ renseteknologi i etageblokke (Nordhavnsgården, 11.1), enfamiliesbolig (ejendom i Kathmandu, 11.2), samt offentligt svømmebad (Ruds Vedby Friluftsbad, 11.3), med tilhørende beskrivelse af infrastruktur, fordele og ulemper.

En anden ændring er at regnvandsaspektet ikke fylder så meget som titlen på rapporten måske antyder. Det skyldes dels at den producerede gråvandsmængde hos Sofiebadet er så stor at den mængde tagvand, der kan opsamles er tæt på negligerbar, dels at udfordringerne med recirkulering primært er knyttet til rensning af gråvandet.

Omkring fact-finding og markedsundersøgelser har fokus været på Kathmandu, Nepal og Addis Abeba, Etiopien (kapitel 11).

Formidling af projektets resultater sker i regi af nærværende rapport, samt i regi af Bimala Prajapatis PhD-afhandling. Desuden præsenteredes resultaterne ved diverse konferencer, bl.a. Vand i Byer stormøde november 2016 og DANVAs årsmøde oktober 2017, samt i artikel i Vand og Jord.

## 6. Metoder og materialer

Metoderne benyttet i dette projekt omfatter laboratorie- og fuldskalaforsøg, skrivebordsanalyser, litteraturgennemgang, indhentning af ekspertviden, interviews, spørgeskemaer og fact-finding mission. For hvert formål uddybes metoder og materialer nedenfor.

### 6.1 Metoder og materialer vedr. formål 1: Teknologiudvikling

Med udgangspunkt i Dobbeltporøs Filtrering udviklet af Københavns Universitet til passiv rensning af vejafstrømning er der gennemført en videreudvikling af teknologien rettet mod gråvandsrensning. Udviklingen er foregået i to skridt, idet der først blev arbejdet med en simpel opstilling, med kun et enkelt dobbeltporøst lag, og derefter en fuldt udviklet løsning i skala 1:1 for rensning af lyst gråvand. Den resulterende teknologi betegnes DPF-Gråvand.

Teknologien blev testet på gråvand fra Sofiebadet i København, der er et offentligt bad med plads til maks. 26 gæster hver anden time, og et dagligt forbrug på ca. 6 m<sup>3</sup> vand. Foreningen bag Sofiebadet har stort fokus på bæredygtig ressourcehåndtering: Tagvand opsamles til toiletskyl; varme fra badene genvindes før udledning, alle forbrugsvarer er økologiske eller svanemærkede, inklusive de sæber m.v. der benyttes af gæsterne, og en tilbygning er opført med lerstampet gulv og lerklinede halmvægge.

Gråvand fra Sofiebadet består primært af vand fra badene, men også af vand fra rengøring, der afledes via samme gulvafløb. Rengørings-gråvandet udgør dog kun en lille andel (se Kapitel 8). Gråvand fra Sofiebadet kan derfor betegnes lyst gråvand.

### 6.2 Metoder og materialer vedr. formål 2: Infrastruktur

Infrastruktur hørende til DPF-Gråvand blev designet med udgangspunkt i Sofiebadets behov og pladsmæssige muligheder. Der blev opstillet tre scenarier for hvordan DPF-Gråvand kan indbygges, afhængigt af hvilke typer gråvand der opsamles og hvilke forsyningsformål, der indgår. For hvert scenarie blev fordele og ulemper i form af vandbesparelspotentiale, forventede myndighedskrav, pladsforbrug og teknisk kompleksitet (operatørvenlighed) vurderet.

### 6.3 Metoder og materialer vedr. formål 3: Myndighedsaspekter

Aspekter omkring myndighedskrav er belyst ud fra to vinkler. Først beskrives hvilke sundhedsmæssige bekymringer, der er forbundet med recirkulering af regn- og gråvand på bygningsniveau, dernæst beskrives hvilke foranstaltninger der kan tages for at reducere bekymringer. Grundlaget er i begge tilfælde foreliggende erfaringer fra Danmark, primært Nordhavngården og Ruds Vedby Friluftsbad, samt input modtaget fra embedslægeinstitutionen. Som en slags syntese udarbejdes på vegne af Sofiebadet et udkast til en ansøgning til Københavns Kommune om brug af teknologi udviklet under formål 1, DPF-renseteknologi, til rensning af lyst gråvand opsamlet fra badene til forsyning af toiletter, vaskemaskine og særlig hane til tapning af rengøringsvand.

## 6.4 Metoder og materialer vedr. formål 4: Slutbrugerpræferencer

Kortlægning af holdninger til genbrug af gråvand er belyst gennem spørgeskema udsendt til beboere i 3B-Folehaven og uddelt til brugere af Sofiebadet, samt gennem interviews af husholdninger i Kathmandudalen. Der spørges til aktuelt brug af gråvand og hvilke anvendelser man kan acceptere at bruge gråvand til. Desuden forsøges betydende faktorer identificeret. I bilag 1 er spørgeskema og interview guide gengivet.

## 6.5 Materialer og metoder vedr. formål 5: Markedsaspekter og fact-finding mission

For at vurdere DPG-gråvandsteknologien potentiale i en dansk kontekst, udover Sofiebadet, er der foretaget en sammenligning med tre eksisterende løsninger for at se om DPF-Gråvand kan udgøre et interessant alternativ, nemlig:

- Det offentlige udendørs bad: Ruds Vedby Friluftsbad
- Etageejendom i København: Etageejendom
- Enkelthusholdning Katmandu, Nepal: privatbolig og børnehave

Derudover er der reflekteret over mulighederne for at nedskalere DPF-Gråvand til installation i lejligheder.

De fire cases har hver sin profil:

- Ruds Vedby Friluftsbad. Et offentligt svømmebassin med plads til maks. 400 gæster. Samlet vandvolumen 860 m<sup>3</sup>. Har siden 2015 benyttet biologiske rensning i bassiner. Udgør DPF-Gråvand et interessant alternativ?
- Nordhavnsgården på Østerbro. Her rensede man i perioden 2002-2013 lyst gråvand fra 84 lejligheder i et biologisk renseanlæg, en såkaldt Rotating Biological Contactor, placeret i kælderen og forsynede et tilsvarende antal lejligheder med toiletskyllevand. Anlægget indstillede efter mekaniske problemer. Udgør DPF- gråvand en interessant mulighed for at fortsætte systemet?
- Ejendom i Kathmandu. Her tages udgangspunkt i et gråvandssystem udviklet af Niva Rain, hvor gråvand renses i en anærob tank efterfulgt af infiltration gennem et plantebed og derefter benyttes til sekundære formål. Udgør DPF- gråvand et interessant alternativ?
- Husholdning med dårlig vandforsyning. Dette eksempel er fiktivt, men tager udgangspunkt i observationer i bl.a. Addis Abeba, hvor der bruges mange kræfter på at slæbe indkøbt vand op i de nye lejlighedskomplekser, hvor der egentlig skulle være vand indlagt, men hvor virkeligheden er præget af vandmangel med tørre vandhaner og toiletter til følge. Problemet er velkendt i mange udviklingsområder. Hvordan kan et system baseret på DPF- gråvand se ud?

For hvert eksempel vurderes fordele og ulemper ved designet i forhold til pladskrav og kompleksitet i rørføring og tanke m.v., samt risici for fejlkobling m.v.

Som input til vurdering af markedspotentialet for DPF-Gråvand er der desuden foretaget en fact-finding mission til Nepal, for vurdering af vandforsyningssituation og identifikation af mulige samarbejdspartnere ved lancering af teknologi.

# 7. Teknologiuudvikling

## 7.1 Baggrund

Med det formål at udvikle en renseteknologi til opgradering af lyst gråvand til forsyningsformål som toiletskyl, tøjvask, rengøring og potentielt personlig hygiejne (brusebad), og som er så kompakt og simpel i drift, at teknologien kan installeres i enkeltejendomme, er der i regi af projektet gennemført to forsøg hos Sofiebadet. Resultatet er blevet en ny teknologi, der betegnes DPF-Gråvand.

Som uddybet i kapitel 9 findes der i Danmark ingen specifikke krav til kvaliteten af rensed gråvand, der ønskes benyttet til forsyningsformål, hverken toiletskyl eller personlig hygiejne. I udgangspunktet er det ikke tilladt at benytte gråvand til forsyningsformål, og der skal derfor indhentes en særlig tilladelse hos den kommunale myndighed, der igen skal have bemyndigelse fra Miljø- og Fødevareministeriet til at give dispensation fra Drikkevandsbekendtgørelsen § 3. Målet om at opnå en vandkvalitet, der gør det rensede gråvand egnet til personlig hygiejne, f.eks. til brusebad, skal derfor mere ses som en vision for projektets teknologiuudvikling end et specifikt mål. Det handlede derfor om at udvikle en teknologi, der markant forbedrer kvaliteten af gråvand, og som lever op til de øvrige krav om at være pladseffektiv og simpel i drift. Efterfølgende må det så vurderes om teknologien kan godkendes til opgradering af gråvand til forsyningsformål i en given situation. Se nærmere herom i kapitel 9.

Tilsvarende andre teknologier til gråvandsrensning (se f.eks. [www.fbr.de/greywaterrecycling](http://www.fbr.de/greywaterrecycling)) skulle vores teknologi baseres på aerob, mikrobiel nedbrydning af gråvandets indhold af organisk stof til gasformig CO<sub>2</sub>. Tilførsel af ilt til en biofilm med god kontakt til gråvandet var derfor afgørende, og det primære fokus i teknologiuudviklingen.

### 7.1.1 Valg af vandkvalitetsparametre

Til beskrivelse af kvaliteten af vandet efter passage af renseanlægget, fokuserede vi i projektet på kvalitetsparametrene oplistet i Tabel 7.1. Ændringer i disse parametre er et udtryk for ændringer i vandets indhold af makrobestanddelene, jf. Tabel 4.1, og dermed et udtryk for at biofilmen fungerer.

Skæbnen for mikrobestanddele, ikke mindst organiske miljøfremmede stoffer, der vides at kunne optræde i gråvand, f.eks. parabener, phtalater, medicinrester, m.v. (se nærmere i kapitel 9), er også relevant at kende, men dette vurderes at høre til i et senere studie, når den grundlæggende teknologidokumentation er på plads.

Tabel 7.1: Kvalitetsparametre, der kan indikere om renseteknologien virker.

Parameter	Ønsket mål	Målemetoder	Begrundelse
Klarhed	Klart	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visuel inspektion</li> <li>• Turbiditet</li> <li>• Suspenderet stof (SS)</li> </ul>	Klart vand er udtryk for at makrobestanddele som hudceller, sæberester, hår, små partikler fra snavs m.v. er fjernet. Klart vand er også en forudsætning for effektiv hygiejnisering af vandet efter rensning.
Biologisk nedbrydeligt materiale	Lavt indhold	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BOD<sub>5</sub></li> <li>• COD</li> </ul>	Gråvand er domineret af organiske materialer, og det er afgørende at teknologien kan reducere indholdet. Et lavt indhold også afgørende for at forhindre eftervækst i tanke og rør på rentvandssiden
Ilt	Højt iltindhold	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O<sub>2</sub></li> </ul>	Hvis det rensede vand indeholder godt med ilt er det tegn på at vandet er fri for letomsætteligt materiale.
Næringssalte	Lavt indhold	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fosfor, P</li> <li>• Kvælstof, N</li> </ul>	Indhold af P og N salte i brugsvandet betyder ikke noget sundhedsmæssigt, men et lavt indhold er vigtigt for at begrænse eftervækst i tanke og rør på rentvandssiden
Bakterier	Lavt indhold	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Total coliforme bakterier</li> <li>• E. coli</li> <li>• Kimtal 21°C</li> <li>• Kimtal 37°C</li> </ul>	Et lavt indhold af bakterier er ligesom ilt tegn på at renseprocessen er nået til vejs ende, og der ikke er mere let-omsætteligt materiale i vandet.

### 7.1.2 Systemovervejelser

Renseteknologien skal kunne indpasses i en enkeltejendom, eksempelvis en kælder som hos Sofiebadet og må derfor ikke være pladskrævende. I sin simpleste form kan et system bestå af en gråvandstank til opbevaring af det urensede vand, derefter rensenheden, derefter en tank til det rene vand og afslutningsvis et hygiejningseringsstep, f.eks. UV eller ozon.

For at minimere risikoen for tekniske sammenbrud og for i det hele taget ikke at gøre systemet mere komplekst end højst nødvendigt, gik vi efter løsninger uden mekaniske dele, såsom roterende akser eller recirkuleringspumper, og ønskede også at finde en passiv metode til tilførsel af ilt, altså undgå ilt-diffusere eller lignende.

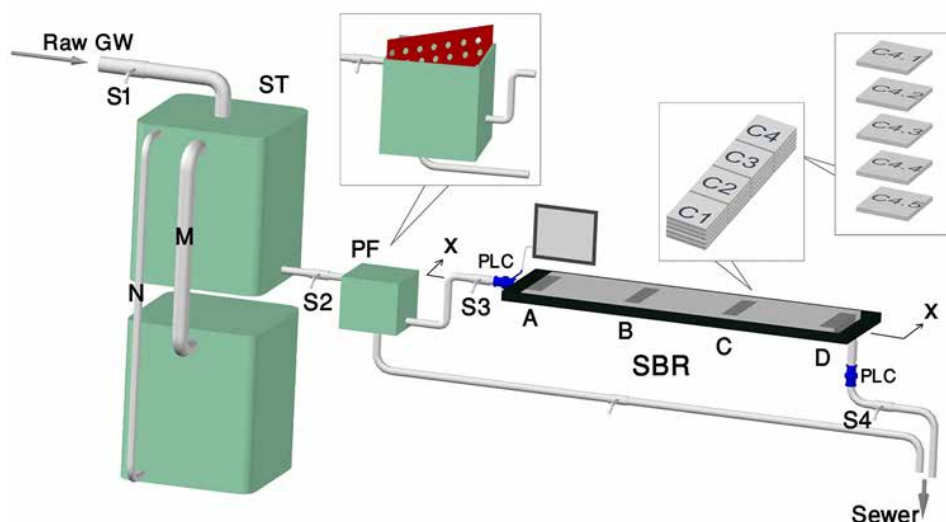
## 7.2 Ideudvikling

Ønsket i projektgruppen om at udvikle en teknologi til rensning af gråvand opstod i 2013, efter at en medarbejder fra Sofiebadet ved et stormøde i Vand i Byer - netværket, fortalte om badets ambition om at spare på vandet ved at opsamle regnvand og recirkulere gråvand, alt sammen uden brug af klor. Sofiebadets recirkuleringsbehov blev anslået til 1 – 1,5 m<sup>3</sup> i døgnet. Med udgangspunkt i erfaringerne fra Dobbeltporøs Filtrering (Jensen et al. 2011) og inspiration fra en studietur til gråvandsanlægget i Nordhavngården, København, der er baseret på Rotating Bio Contactors hvor biofilmen iltes ved direkte eksponering til atmosfæren (beskrevet nærmere i Kapitel 8), blev en DPF-Gråvands-løsning skitseret for første gang. Ideen var at sprede gråvandet portionsvist ud i et tyndt, vandret lag over en biofilm frit eksponeret til atmosfæren, i et

passende stykke tid. Det blev vurderet at en opdeling af vandvolumenet i et øvre mobilt vandlag, og et nedre semi-stagnant vandlag kunne have fordele i forhold til at fremme sedimentation af suspenderet stof (SS), og muliggøre omsætning af den organiske fraktion over længere tid, f.eks. døde hudceller, der jo kan nedbrydes men kun over længere tid. Dette blev testet i pilotforsøget, hvor en 2 m lang forsøgsreaktor kunne simulere første del af en renseproces. Resultatet indikerede god effekt af både selve grundideen med portionsvis eksponering til atmosfæren i vandret lag, og af ideen med et semi-stagnant vandlag. Det blev derfor besluttet at bygge et anlæg efter samme princip til fuld behandling af gråvand fra Sofiebadet, med mange lag oven på hinanden. Til sikring af iltning af hvert lag opstod en ide til hvordan luft kan indfanges over hvert vandlag. Denne beskrives ikke nærmere af hensyn til evt. patentering.

### 7.3 Pilotforsøg – opbygning, forsøgskørsel og resultat

Vi testede ideen om behandling af gråvand i tynde horisontale lag eksponeret til atmosfæren ved at tilføre gråvand fra Sofiebadet portionsvis til en flad aflang reaktor med et samlet volumen på 60 L. Reaktoren var 2 m lang, 0,5 m bred og 5 cm dyb, og bygget som en åben kasse, i vandfast finér. Forsøgsopstillingen er vist skematisk i Figur 7.1. I Figur 7.2 ses et foto af opstillingen. Som medie til biofilmens etablering benyttede vi et 10 mm tykt net af polyamid med en åben struktur, af mærket Enkamat (Figur 7.3), der blev skåret ud, så det netop passede i reaktoren (0,5 m x 2 m) og stablet i fem lag til en samlet tykkelse på 5 cm.



Figur 7.1: Skematisk illustration af pilotopstilling til første test af DPF-gråvand. Det rå gråvand (raw GW) modtages i to tanke (storage tank, ST) med samlet volumen på 1,5 m<sup>3</sup>. Når øverste tank er fuld, fyldes nederste tank ved hjælp af rør M. Fra øverste tank er der overløb til kloak. Gråvandet løber fra øverste tank gennem forfilter (PF, prefilter) og derfra til selve reaktoren (SBR, sequencing batch reactor). I bunden af nederste tank står en dykpumpe, der via rør N løfter vandet op i øverste tank (pumpen kører ca. 10 s pr. minut uanset om der er vand i nederste tank, overskydende vand fra øverste tank kan cikulerere til nederste tank via rør M). Forfilteret er beregnet til fjernelse af hår og andre større partikler. Det består af et perforeret rør (vist som hullet plade i forstørret tegning). Indløbet til reaktoren kontrolleres med en ventil, der programmeres på PLC-enheden. Udløbet kontrolleres ligeledes med en ventil. Der kan udtages vandprøver ved S1, S2, S3 og S4. Der kan udtages netprøver ved A, B, C og D. Som vist i forstørret tegning for position C kan der udtages stakke til fire forskellige tidspunkter (C1 ~4 d, C2~8 d, C3~12 d og C4~16 d). De fem net i hver stak kan analyseres enkeltvis. Nummerering af net er vist i forstørret tegning af stak C4. Tegningen er ikke målfast – se tekst for mål på reaktor.



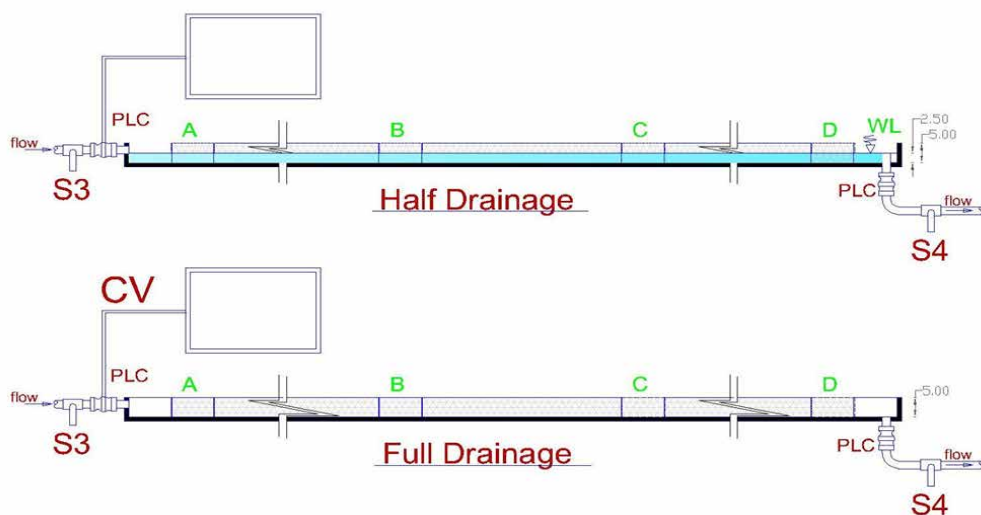


Figur 7.2: Foto af opstilling til pilotforsøg. Grävands-palleanke ses bagerst. Det orange rør er forfilter. Reaktoren er den sorte flade kasse. Billedet er taget under forberedelse af forsøgene.



Figur 7.3: Som medie for biofilmens fasthæftning blev benyttet et polyamid-net af mærket Enkamat, som vist på fotoet.

Gråvandet blev tilført reaktoren i portioner ved hjælp af timer-kontrollerede ventiler på ind- og udløb. Hver portion blev tilført efter samme mønster, eller sekvens, bestående af følgende faser: fyldning, behandling, dræning, hvile. Vi gennemførte to forsøg, et med fuld dræning (FD) af hver portion og et med halv dræning (HD), som illustreret i Figur 7.4. Ved HD efterlades et 2,5 cm dybt, stagnant vandlag. Dermed producerer FD 60 L i hver sekvens, mens HD kun producerer 30 L. For at kunne opnå samme vandbehandlingsrate på 1,4 m<sup>3</sup>/d i begge forsøg var sekvensvarigheden halv så lang i HD. En oversigt over sekvenser for de to forsøg er vist i Tabel 7.2. Ved opstart af hvert forsøg blev der benyttet nye Enkamatnet, direkte fra producent.



Figur 7.4: Illustration af forskel mellem de to forsøg gennemført i pilotforsøget, vist som tværsnit på langs af forsøgsreaktoren. I første forsøg afdrænedes hver portion fuldt (nederst, Fuld Drainage). I næste forsøg afdrænedes hver portion kun halvt (øverst, Half Drainage), og der opstod dermed et stagnant vandlag med en dybde på 2,5 cm.

Tabel 7.2: Oversigt over sekvens for hver portion (batch) i de to forsøg gennemført på pilotopstillingen.

	Fuld dræning	Halv dræning
Mobilt volume per sekvens (L)	60	30
Stagnant volumen (L)	0	30
Fyldning (min)	15	7.5
Behandling min)	10	5
Dræning (min)	20	10
Hvile (min)	15	7.5
Varighed af sekvens (min)	60	30
Behandlingsrate (L/d)	1440	1440

Der blev udtaget vandprøver følgende steder i systemet: Indløb til gråvandstank (rå gråvand, S1), efter opbevaring i tank (S2), efter passage af forfilter (S3), der svarer til indløbet (influent) til reaktoren, og efter passage af reaktor, dvs. effluent (S4). Prøvetagning ved S1 og S2 foregik manuelt (grab-sample), dvs. om morgenen blev der kortvarigt åbnet for en ventil. Prøvetagning af influent (S3) og effluent (S4) blev foretaget som kontinuerede døgnprøver, i det en andel af influent og effluent løbende blev opsamlet i 24 L dunke. Prøverne blev analyseret for turbiditet, suspenderet stof (SS) og COD ved hjælp af metoderne anført i Tabel 7.3.

Tabel 7.3: Oversigt over vandanalyser og analysemetoder ved pilotforsøg.

Parameter	Enhed	Prøver	Metode
Turbidity	FAU, Formazin Attenuation Units	S1, S2, S3, S4	DR 3900 (Hach), Range 40-400 FAU, Wavelength 860 nm, EN ISO 7027
Suspended solids (SS)	mg/l	S3, S4	Filtration through Whatman filter paper, GF/F, pore size >0.7µm, EN 872
Chemical oxygen demand (COD)	mg/l	S3, S4	LCK 314, Range 15-150 mg/l Spectrophotometer DR 3900 (Hach), ISO 6060-1989

For at kunne dokumentere opbygningen af biofilm på polyamid-nettet blev der efter udlægning af net, og før forsøgsstart, forberedt nogle netstumper til senere udtagning ved at udskære små kvadrater á 10 cm x 10 cm, i stigende afstand fra indløbet (A: 0 m, B: 0,6 m, C: 1,3 m og D: 1,9 m). Ved hver position blev der som vist i Figur 7.1 udskåret 4 stakke á 5 net ved siden af hinanden, sådan at stakke kunne udtages efter 4 dage, 8 dage, 12 dage og 16 dage. Eftersom hver stak bestod af 5 enkelt-net kunne det også lade sig gøre at analysere fordelingen af materiale vertikalt i nettet. Nummerering af stakke fremgår af Figur 7.1. Udtagne stakke blev erstattet af nye, så der ikke opstod huller i filteret. Efter udtagning blev nettet lagt på køl i en lukket pose. Ved analyse blev posen med net åbnet og placeret i en ovn ved 55 °C til tørhed, og ved fratrækning af vægten af pose og rene net kunne akkumuleret tørstof beregnes. I Figur 7.4 ses et foto af reaktoren med net forberedt til ifyldning af 10 x 10 cm stakke før forsøgsstart.



Figur 7.4: Foto af pilotopstilling under forberedelse af net til udtagning af delprøver af net i forskellig afstand fra indløbet og til forskellige tidspunkter.

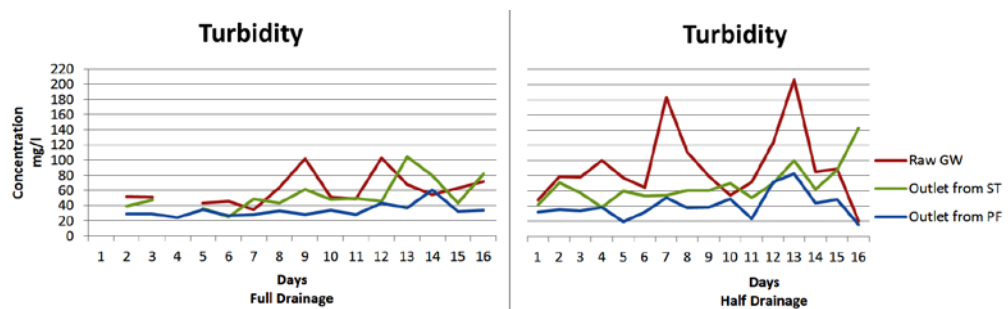
Variationen i turbiditet i rå gråvand, efter gråvandstank og efter forfilter ses i Figur 7.5. Turbiditet af det rå gråvand (S1) ses at svinge betydeligt. Nogle prøver var næsten klare med turbiditet omkring 20 FAU mens andre var decideret grå med turbiditet på over 200 FAU. Efter ophold i gråvandstanken skete der en vis udligning, dokumenteret ved indsnævring i intervallet for prøver fra S2 til et turbiditetsinterval fra ca. 40 til knap 150 FAU. Efter forfilteret snævrede intervallet endnu lidt ind.

Forfilteret fangede hår og større partikler, og det var nødvendigt med daglig rensning for at forhindre tilstopning af indløb til reaktoren.

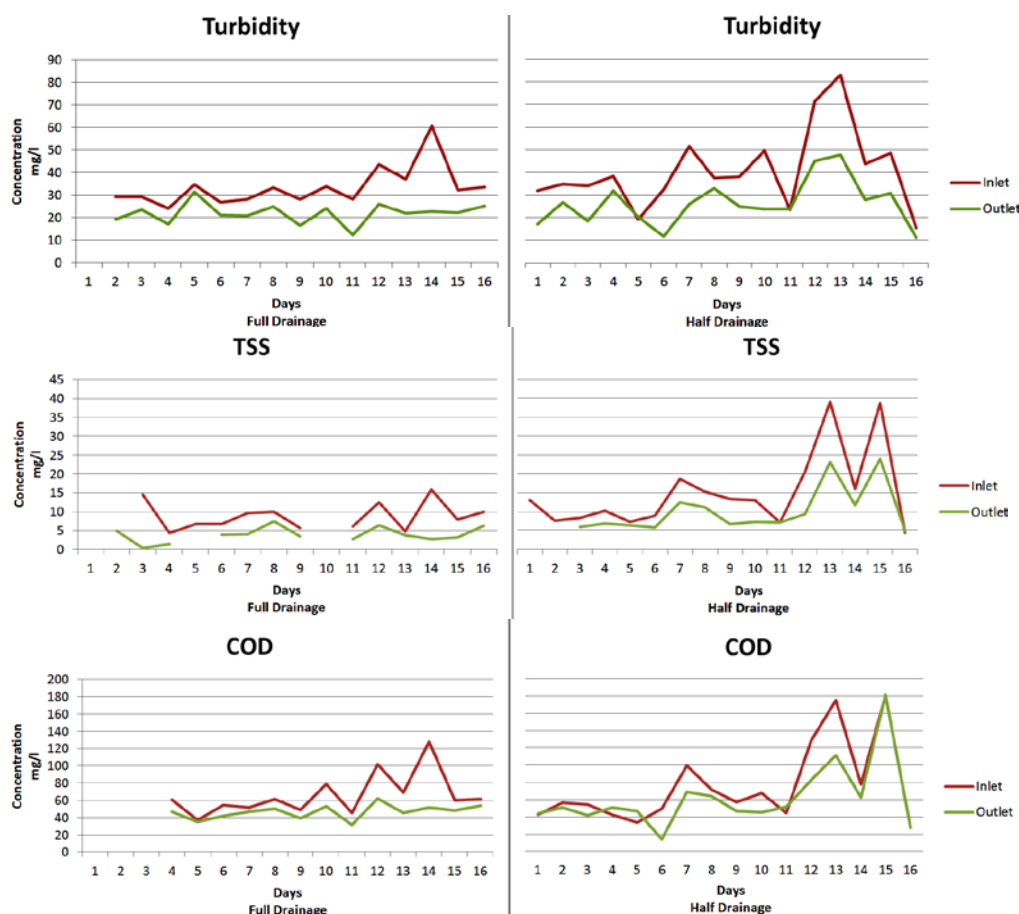
Effekten af reaktoren på vandkvaliteten ses i Figur 7.6. Her er turbiditet, SS og COD vist for influent (S3) og effluent (S4) for FD og HD forsøgskørslerne.

Det ses at forureningen af effluent udtrykt som turbiditet, SS og COD generelt ligger et stykke under influent. Det ses endvidere at der er en betydelig variation i influentkvalitet over forsøgsperiode, og at effluent til en vis grad spejler denne variation. Direkte sammenligning af FD og HD forsøgene vanskeliggøres af at influent i HD-forsøget tilfældigvis ligger højere, især mod

slutningen af forsøget sammenlignet med FD. Dette til trods er der foretaget en sammenligning i Tabel 7.4 af gennemsnitsværdier for FD og HD. Tabellen anfører også min- og maks-værdier, standardafvigelse og fjernelsesprocent. Det vurderes at rensegraden i FD og HD er på omtrent samme niveau, og at omkring 1/3 af forureningen udtrykt ved SS og COD fjernes under passage af reaktoren. Det kan dermed konkluderes at ideen med at eksponere gråvand i tynde lag direkte til atmosfæren forbedrer vandkvaliteten markant. Ved opskalering af metoden vil det være afgørende at sikre fortsat god tilgang af ilt.



Figur 7.5: Turbiditet af gråvand fra badene (raw GW) og efter opbevaring i tank (outlet from ST), samt efter passage af forfilter (outlet from PF).

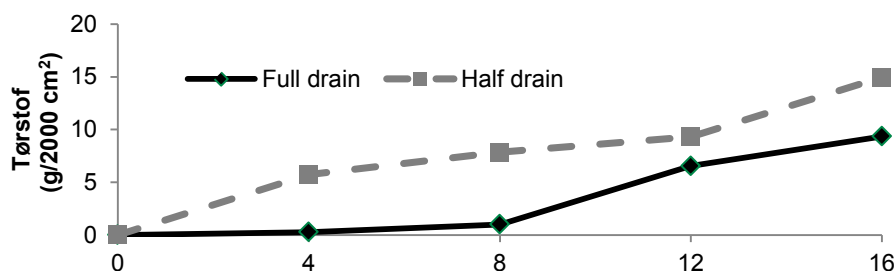


Figur 7.6: Kvalitet af vand før (inlet) og efter (outlet) passage af 2 m lang, åben reaktor over et forløb på 16 dage, med batchvis fyldning og hel (FD) eller delvis (HD) dræning. Øverst turbiditet, i midten SS, nederst COD.

Table 7.4: Værdier for turbiditet, SS og COD i influent til og effluent fra reaktoren under forsøgene med fuld dræning og halv dræning.

		Fuld Dræning (FD)			Halv dræning (HD)		
		Influent	Effluent	Ændring %	Influent	Effluent	Ændring %
Turbidity (FAU)	min – max	12 - 60	8 - 31	9 – 62	16 - 71	11 - 48	12 - 64
	Average	31	20	33	38	26	37
	st. dev.	12	7	14	14	10	15
TSS (mg/L)	min – max	4 - 16	0.4 – 7	21 – 98	4 - 39	5 - 24	0.1 - 54
	Average	9	4	53	15	10	33
	st. dev.	4	2	22	10	5,9	14
COD (mg/L)	min – max	37 - 128	31 – 62	5 - 59	33 - 180	14 - 181	10 - 71
	Average	66	47	25	79	62	29
	st. dev.	25	8	14	47	39	18

Udviklingen af biofilm kunne til dels følges med det blotte øje, idet det sorte polyamid-net gradvist blev mere og mere gråt. Dette billede bekræftes af analyserne af netprøver. Sammenligning af akkumuleret tørvægt under de to forsøg viste dog nogle interessante forskelle. Der ser ud til at akkumuleres mest tørvægt i HD-forsøget (Figur 7.7). Forskellen er især markant i starten af forsøget, og kan derfor ikke tilskrives forskelle i influentkvalitet, idet influent havde nogenlunde samme karakter de første ca. 11 dage. Det er også interessant at se, at der er akkumuleret markant mere tørvægt i de øverste net i HD sammenlignet med FD (Figur 7.8), hvilket indikerer at biofilmen udvikler sig bedst i HD. For tørvægtindholdet i de øverste net må være domineret af biofilm og ikke akkumuleret sediment, der kan spille en rolle i det nederste netlag. Figur 7.8 viser også at fordelingen af biofilm er mere jævn over hele reaktorlængden under HD sammenlignet med FD.



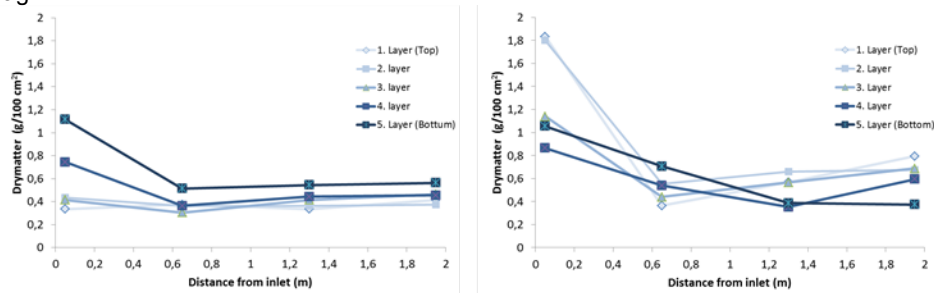
Figur 7.7: Samlet vægt af akkumuleret tørvægt i stakke udtaget efter 4, 8, 12 og 16, svarende til et samlet netvolumen på 2000 cm<sup>2</sup>.

På baggrund af pilotforsøget vurderes det, at en åben reaktor, der opereres portionsvis (batchvis), kan forbedre kvaliteten af gråvand markant. Hvor lang en reaktor, der skal til for at opnå tilfredsstillende effluentkvalitet, kræver flere forsøg. Da en større reaktor med stor sandsynlighed skal bestå af mange strømningslag oven på hinanden, kan fri eksponering til atmosfæren ikke lade sig gøre. Udvikling af en simpel metode til sikring af ilttilførsel i en sådan version er afgørende, hvis ambitionen om lav teknisk kompleksitet ikke skal kompromitteres.

Forsøgene med fuld (FD) og halv dræning (HD) viste at HD resulterer i samme niveau for rensning som FD til trods for kortere opholdstid. Da biofilmen ser ud til at udvikles hurtigere og for-



dele sig mere jævnt med HD blev det besluttet at gå videre med ideen om et stagnant vandlag.



Figur 7.8: Vertikal fordeling af akkumuleret tørvægt efter afslutning af forsøg, i stigende afstand fra indløb under FD (venstre) og HD (højre).

## 7.4 Fuldskalaforsøg – opbygning, forsøgskørsel og resultater

Formålet med fuldskalaforsøget var for det første at vurdere om princippet med portionsvis eksponering af gråvand i vandrette lag til iltholdige lag kan sikre en tilfredsstillende vandkvalitet inden for et rimeligt pladsforbrug, eller om der skal benyttes så mange vandrette lag før kvaliteten er tilfredsstillende, at anlægget bliver for voldsomt til at kunne indpasses hos Sofiebadet og mindre ejendomme i øvrigt. For det andet var formålet at teste om ideen med indespærring af luft i lag over de vandrette vandlag virker.

Fuldskalaanlægget, der kan betegnes en prototype af DPF-Gråvand, blev designet til rensning af ca. 1 m<sup>3</sup> gråvand i døgnet. Størrelsen på anlægget blev besluttet dels ud fra erfaringerne fra pilotanlægget, dels pragmatisk ud fra pladsforholdene i Sofiebadets kælder. Fra pilotanlægget vidste vi at ca. 1/3 af forureningen forsvandt, når 30 L gråvand blev eksponeret til atmosfæren over en biofilm på 1 m<sup>2</sup> i sekvenser af 30 min. Da denne rate formodes at aftage i takt med at vandet bliver renere vil det ikke være tilstrækkeligt blot at gøre eksponeringen tre gange så stor. Det blev estimeret, at der snarere er behov for en ti gange så stor eksponering, altså i størrelsesordenen 20 m<sup>2</sup> biofilm og 300 min kontakt med en aerob (iltholdig) biofilm. Pladsforholdene i Sofiebadet er dog begrænsede, og i sidste ende lykkedes det at få konstrueret et fuldskala-DPF-Gråvandsanlæg med ca. 13 m<sup>2</sup> biofilm og en kontakttid på ca. 240 min ved rensning af ca. 1 m<sup>3</sup> gråvand i døgnet.

### 7.4.1 Opbygning af forsøgsanlæg

Fuldskalaanlægget blev opbygget af otte plastikkasser, eller "bokse" (S-kasser fra Dansk Transportemballage), stablet oven på hinanden til et 1,8 m højt tårn, med indløb i øverste boks, Boks 1 og udløb i nederste boks, Boks 8. Gråvand blev tilført til Boks 1 ved hjælp af en dykpumpe (Grundfos), da der ikke kunne skabes naturlig gradient pga. pladsforholdene, og løb herefter ved gravitation i et zig-zag mønster fra boks til boks ned igennem tårnet, styret af timerkontrollerede ventiler på udløb fra hver boks. Indløbs-pumpen blev styret af en niveaumåler placeret i hjørnet af Boks 1, og kunne fylde boksen på ca. 1 minut. Opstillingen er vist og forklaret yderligere i Figur 7.10. De indvendige boksmål er (LxBxH) 0,75 m x 0,55 m x 0,22 m, svarende til et volumen på 90 L, hvoraf ca. 15 % forbruges af renselagsmaterialer. Hver boks blev forsynet med fem renselag, med følgende tre centrale funktioner indbygget i hver enkelt renselag (nedefra): i) stagnant vandlag for akkumulering af sediment; ii) mellemlag for biofilm og vandflow, og iii) et luftlag for sikring af aerobe forhold. Renselagene er vist og forklaret yderligere i Figur 7.11. Renselagene blev tilpasset i længde og bredde så de passede til boksene, men sådan at der blev friholdt ca. 1 cm langs boksvæggen i begge ender for at sikre fri fyldning og dræning.

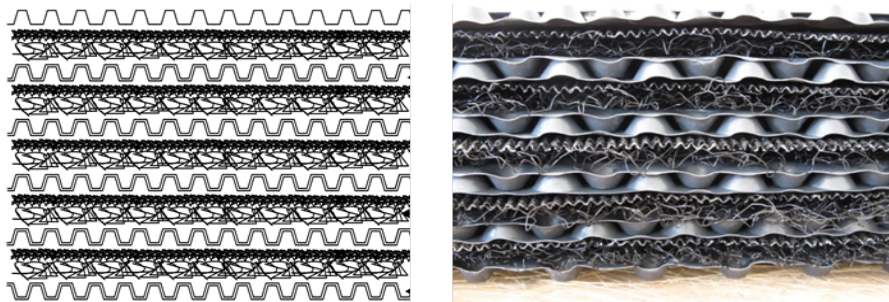
For Boks 1 er opbygningen anderledes. I og med at Boks 1 modtager gråvandet direkte fra gråvandstanken blev Boks 1 indrettet til at fungere som forfilter, til fjernelse af hår og andre makroskopiske partikler, der ellers let kunne stoppe efterfølgende bokse til. Forfilteret bestod af et "hårfilter" i form af et sammenrullet stykke net af 10 mm Enkamat med diameter på 30 cm, samt specielle plader til fangst af sediment. Der blev benyttet i alt fem plader til sedimentfangst, i form af glatte plader med tværgående lameller på oversiden og 6 mm afstands-studse på undersiden. Hårfilter-rullen optog ca. 1/3 del af pladsen. For at tilbageholde flydestoffer blev Boks 1 ikke tømt fuldt af i hver dræn-fase, men efterladt med ca. 2 cm stående vand. I Figur 7.12 ses den færdige Boks 1 før ibrugtagning, samt en af de øvrige 7 bokse under opbygning af renselag.

Ideen med luftlag i hvert sandwich blev testet i vandbad i laboratoriet forinden opbygning, og viste at metoden sikrer ca. 2 L luft pr. m<sup>2</sup>.

Prøver af vand kunne udtages dels ved hjælp af aftapningshaner ved indløb til Boks 1 og udløb fra hver boks, dels ved hjælp af to fraktionsopsamlere koblet på indløb til Boks 1 (sugestykke placeret efter hårfilter) og udløb fra tårnet (udløb fra Boks 8), som forklaret yderligere i Figur 7.10.



Figur 7.10: DPF-Gråvandstårn, benyttet ved fuldskalafor søg, bestående af otte bokse, med grundareal ca. 0,5 m<sup>2</sup> og samlet højde 1,8 m. Gråvand tilførtes fra gråvandstank til øverste boks, Boks 1, via et indløb i venstre side (ikke synligt på foto), og vandet løb herefter fra boks til boks portionsvis ned i gennem tårnet. Fyldning og dræning af hver boks blev styret ved hjælp af timerkontrolleret ventil (rød firkant) placeret på udløbsrøret fra hver boks. Ved hjælp af aftapningshaner (lodret studs med lille rød ventil) kunne der udtages prøver af indløbsvandet, influent (Prøve 1) samt af udløbsvandet, effluent, fra alle bokse (Prøve 2 – 9). Der blev også benyttet fraktionsopsamler (ISCO, ses som grå tøndeformet beholder bagerst til venstre i billedet) til automatisk prøvetagning af influent (indløb til Boks 1) og effluent fra tårnet, dvs. udløb fra Boks 8 (Prøve 9).



Figur 7.11: Renselag indbygget i Boks 2 – 8. Til venstre er illustreret et tværsnit gennem de fem lag, hvor hvert lag er en sandwich bestående af (nedefra): stiv plade med nedadvendte fordybninger (Icopal) for stagnant vandlag og akkumulering af sediment; åben polyamid net med en vis bæreevne for support af biofilm og for flow af vand (10 mm Enkamat, se Figur 7.3) overlagt med et tættere polyamid net (4 mm Enkadrain) for ekstra biofilmudvikling tæt på luftlag, og øverst stiv plade med opadvendte hulrum (Icopal). Til højre ses et foto af en færdig stak af fem renselag.



Figur 7.12: Til venstre ses foto af Boks 1 klar til indbygning i DPF-Gråvandstårnet. Boks 1 er indrettet anderledes end de øvrige bokse, da denne boks fungerer som modtageboks, og derfor vil være ekstra udsat for tilstopning med hår og større partikler. Den sammenrullede Enkamat fungerer som forfilter, mens de efterfølgende plader fungerer som sedimentfang. Til højre ses en af de øvrige syv bokse under indbygning af renselag. Øverste synlige plade er en Icopal-plade, hvor hulrummene vender opad, beregnet til forsyning af underliggende biofilm med ilt.

#### 7.4.2 Forsøgskørsel, prøvetagning og analyseprogram

Fra pilotforsøget vidste vi at opbygningen af biofilm på polyamidnettet tager tid, og at DPF-Gråvandstårnet derfor først kunne forventes at være i normal og stabil driftsfase efter nogle uger. Fuldskalaforsøget blev i overensstemmelse hermed opdelt i to faser, nemlig en opstartsfas for udvikling af biofilm, hvor prøvetagningsprogrammet blev minimeret for at spare ressourcer, og en hovedfase med fuldt monitoringsprogram. Varigheden af opstartsfasen blev sat til to uger, og hovedforsøget til ca. tre uger. Forsøgsperioden strakte sig fra 31. maj til 1. juli, og varede således 32 dage, eller knap 5 uger i alt. Opstartsfasen dækker Dag 1-14, og hovedfasen dækker Dag 15 – 32.

Sekvensen for portionsvis fyldning og dræning af en hver boks i DPF-Gråvandstårnet varede 30 min, fordelt med ca. 15 min til fyldning og behandling i boks, og 15 min til dræning til næste boks og hvile/geniltning af biofilm. Da dræning af en boks foregår parallelt med fyldning af næste boks er den samlede opholdstid for en portion vand, dvs. den tid det tager fra vandet løber ind i Boks 1 til det forlader Boks 8, to timer. Forløbet er således: Gråvand pumpes til Boks 1 og når boksen er fuld, efter ca. 7-8 minutter stopper pumpen. Efter yderligere 7-8 minutter åbner udløbsventilen, og vandet i Boks 1 begynder at dræne af og gradvist fylde Boks 2



op. Efter ca. 7-8 minutter er Boks 1 tom og Boks 2 fyldt. Boks 1 hviler sig i yderligere 7-8 minutter, samtidig med at behandling foregår i Boks 2. Herefter tages en ny portion gråvand ind i Boks 1 og samtidig begynder Boks 2 at dræne af til Boks 3, osv. Luften i de opadvendte hulrum fornyes under hver afdræning.

Det ønskede flow gennem DPF-Gråvandstårnet var omkring 1 m<sup>3</sup> pr. døgn. Dette blev justeret ved hjælp af de timerkontrollerede ventiler. Det reelle flow blev registreret med en flowmåler monteret på udløbet efter Boks 8.

Analyseprogrammet havde to formål. For det første skulle analyseprogrammet dokumentere om den udviklede løsning, DPF-Gråvand, i den opbyggede konfiguration, DPF-Gråvandstårnet, kan sikre en tilfredsstillende kvalitet af det rensede gråvand. Denne dokumentation baseres på sammenligning af kvaliteten af det vand der sendes ind i tårnet (influent) med kvaliteten af det vand, der forlader tårnet, effluent, som jo i givet fald skal bruges som forsyningsvand. For det andet skulle analyseprogrammet muliggøre et indblik i processerne i de enkelte bokse ned i gennem tårnet. Dette blev baseret på analyse af udløbsvandet fra de enkelte bokse, samt vejning af akkumuleret materiale efter afslutning af forsøg. Dokumentationen er baseret på manuelle prøver (Prøve 1 – 9), prøver udtaget automatisk med fraktionsopsamler (Isco-prøver), og analyse af renselag i bokse efter forsøgskørsel.

De manuelle prøver af influent (Prøve 1) og effluent fra boksene (Prøve 2 – 9) blev indsamlet ved direkte aftapning fra hannerne (Figur 7.10). Det tilhørende analyseprogram er vist i Tabel 7.5. Af ressourcemæssige årsager blev der målt på færre parametre i opstartsfasen, ligesom det heller ikke var muligt at gennemføre alle analyser på samtlige effluentprøver i hovedfasen. Her blev Prøve 5, der består af effluent fra midterboksen, Boks 4 udvalgt til fuld monitoring sammen med effluent fra Boks 8 (Prøve 9). Dette fremgår også af Tabel 7.5. Det skal bemærkes at der også blev gjort forsøg på at måle BOD<sub>5</sub> men at disse målinger ikke lykkedes. Reduktion af organisk materiale er derfor dokumenteret alene ved COD.

Fraktionsopsamlerne (Isco) til prøvetagning af influent og effluent blev indstillet til at tage en prøve hver 4. time døgnet rundt i hovedfasen. Hver fraktion blev analyseret for pH, elektrisk ledningsevne (EC) og turbiditet, og på en sammenblandet døgnprøve blev der målt suspenderet stof (SS), efter samme metoder som beskrevet i Tabel 7.5. Disse prøver, "isco-prøver" af influent og effluent fungerer som en slags back-up prøver, der kan afsløre om der er forekommet væsentlige udsving, der ikke er fanget i den øvrige prøvetagning.

Ved forsøgets afslutning blev DPF-Gråvandstårnet afdrænet og skilt ad for fotografering og vejning af de enkelte renselag i hver boks. Dermed kunne der opnås yderligere indblik i funktionen af hver enkelt boks i tårnet, og af de enkelte renselag.

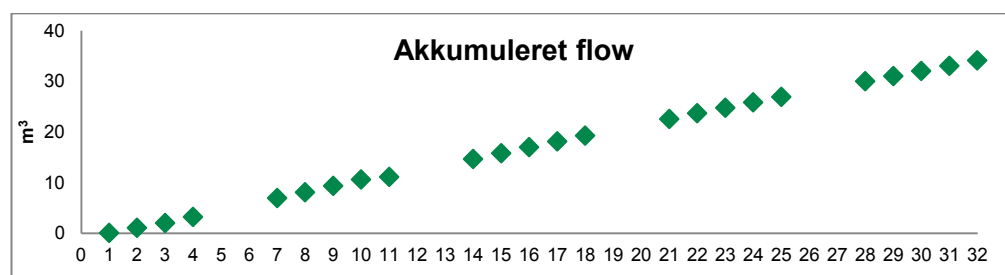
Tabel 7.5: Oversigt over analyseprogram for prøver udtaget manuelt fra influent (Prøve 1) og fra udløbet fra de otte bokse (Prøve 2-9), "boks-effluent". Effluent fra Boks 8 (Prøve 9) svarer til effluent fra hele tårnet.

Parameter	Enhed	Prøve	Metode
Akkumuleret flow	m <sup>3</sup>	9	Brunata flowmåler
Temperatur	°C	1,2,3,4,5,6,7,8,9	Termometer
pH		1,2,3,4,5,6,7,8,9	HQD 40 electrode (Hach), ISO standard 10523:2008
Elektrisk ledningsevne (EC)	µS/cm	1,2,3,4,5,6,7,8,9	HQD 40 electrode (Hach)
Redoxpotentiale	mV	1,2,3,4,5,6,7,8,9	HQD 40 electrode (Hach)
Opløst ilt (DO)	mg/L	1,2,3,4,5,6,7,8,9	Hach, HQD 40 electrode
Turbiditet	FAU	1,2,3,4,5,6,7,8,9	DR 3900 (Hach), Range 40-400 FAU, Wavelength 860 nm, EN ISO 7027
Suspenderet stof (SS)	mg/L	1,9 (i initialiseringsfasen) 1,5,9 (i hovedfasen)	Filtration through Whatman filter paper, GF/F, pore size >0.7µm, EN 872
Yderligere parametre målt i hovedfasen			
COD	mg/L	1,5,9	LCK 314, Range 15-150 mg/l Spectrophotometer DR 3900 (Hach), ISO 6060-1989
Total N	mg/L	1,5,9	
Total P	mg/L	1,5,9	
Total coliforme		1,5,9	
E. coli		1,5,9	
Kimtal 21°C		1,5,9	
Kimtal 37°C		1,5,9	

### 7.4.3 Resultater fuldskalaforsøg

#### 7.4.3.1 Flow gennem DPF-Gråvandstårn

I løbet af den 32 d lange forsøgsperiode passerende i alt 34 m<sup>3</sup> vand i gennem DPF-Gråvandstårnet, svarende til en gennemsnitlig behandlingsrate på 1.06 m<sup>3</sup>/d. Forsøget kørte som planlagt, uden nogen nedbrud i flow eller andre væsentlige forstyrrelser. Det akkumulerede flow er vist i Figur 7.13.

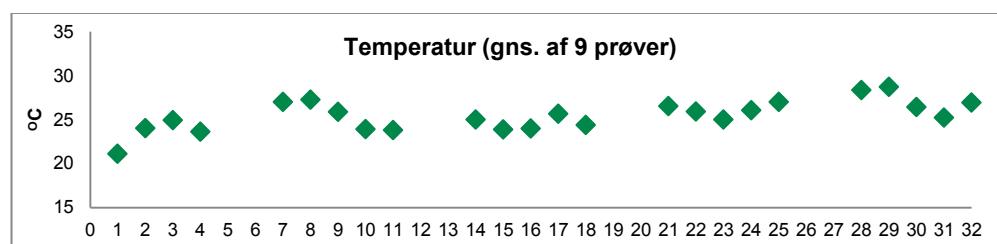


Figur 7.13: Akkumuleret flow over forsøgsperioden på 32 dage.

#### 7.4.3.2 Fysisk, kemisk og biologisk kvalitet af influent og effluent (Prøve 1-9)

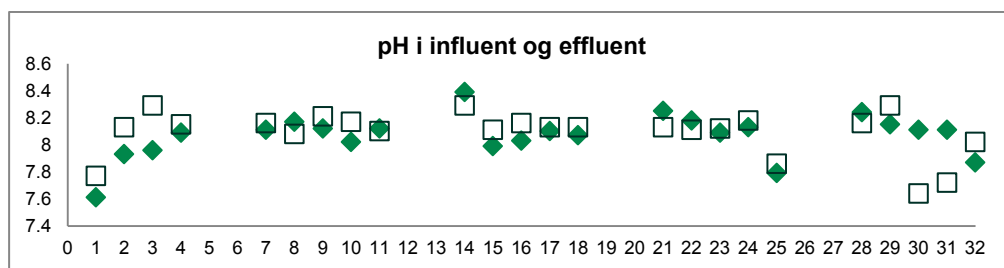
Her præsenteres data for prøver indsamlet manuelt fra indløb (influent, Prøve 1), samt udløb fra de otte bokse i DPF-Gråvandstårnet (effluent, Prøve 2 – 9). Bemærk at effluent fra Boks 1 benævnes Prøve 2, osv. Bemærk endvidere at Prøve nr. 9, der er effluent fra Boks 8, også repræsenterer effluent fra hele tårnet, altså den endelige vandkvalitet. Disse data udgør hovedmonitoreringen af fuldskalaforsøget. Nogle data er analyseret i både opstarts- og hovedfasen, mens andre af ressourcemæssige årsager kun er analyseret i hovedfasen.

**Temperatur.** De daglige temperaturmålinger af influent og i effluent fra hver boks lå tæt på hinanden, hvilket afspejler at temperaturen af gråvandet fra Sofiebadets bade under opblanding og opbevaring i gråvandstanken får samme temperatur som kælderen. I løbet af den samlede forsøgsperiode svingede temperaturen omkring 7 grader, som det fremgår af Figur 7.14.

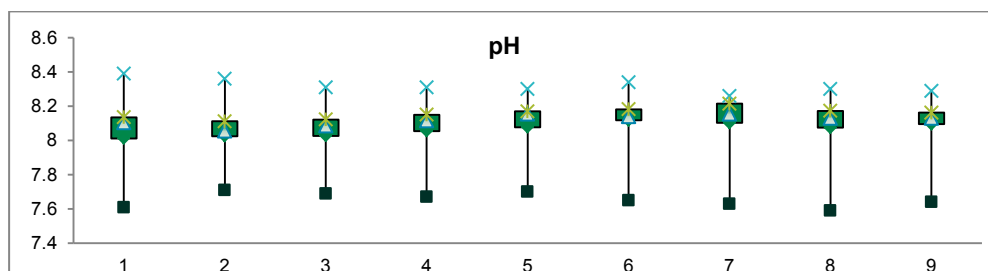


Figur 7.14: Gennemsnitstemperatur af vand i DPF-Gråvandstårnet over forsøgsperioden på 32 dage.

**pH** i både influent og effluent fra alle bokse svingede omkring en halv pH-værdi omkring pH 8, og var dermed generelt en smule basisk, hvilket tilskrives pH påvirkning fra sæber. I Figur 7.15 er pH i influent og effluent (udløb fra tårnet) vist samlet over hele forsøgsperioden, og det ses, at der ikke er nogen tydelig tendens til ændring i pH i effluent over forløbet. For at få et indblik i pH variationen ned i gennem tårnet er alle observerede værdier over forsøgsperioden ved alle prøvetagningssteder vist som boxplot i Figur 7.16, dvs. samtlige målinger opstillet efter størrelse og vist som kvartil-fordelinger. Der ser ingen tendens til udvikling af særligt mønster for pH værdier.

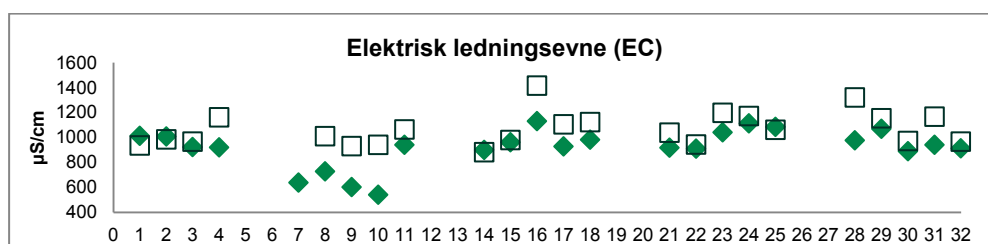


Figur 7.15: pH i influent og effluent over forsøgsperioden på 32 dage. Grøn rude = influent. Sort firkant = effluent.

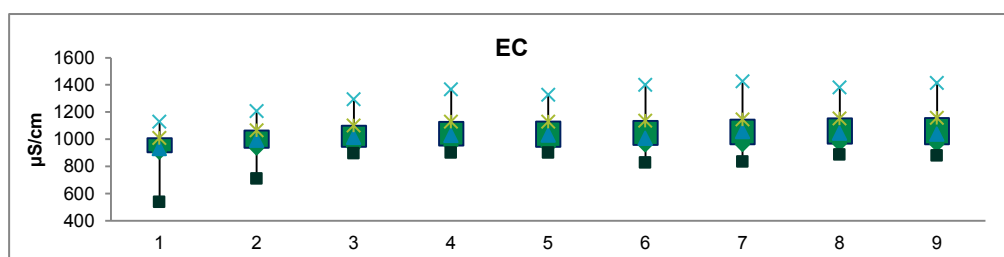


Figur 7.16: Boxplot af alle pH værdier målt i influent (1) og effluent fra de otte bokse (2 – 9) over forsøgsperioden på 32 dage. Sort firkant = laveste værdi observeret. Blåt kryds = højeste værdi observeret. Stor grøn firkant = 2. og 3. kvartil (svarende til at 50 % af alle prøver lå i dette interval). Blå trekant = medianværdi. Afstand fra grøn firkant til minimumsværdi svarer til de 25 % laveste værdier (1. kvartil) og afstanden fra grøn firkant til maksimumsværdi svarer til de 25 % højeste værdier (4. kvartil).

**Elektrisk ledningsevne (EC)** varierede betydeligt i både influent og effluent (Figur 7.17). Der synes ikke at være noget tydeligt mønster, således følges influent- og effluentværdier ikke altid, selv om de ofte gør det, og der synes ikke at være nogen forskel mellem opstarts- og hovedfase. I Figur 7.18 er EC værdier for samtlige influent og boks-effluent-prøver fra hele forsøgsperioden vist som boxplot. Heraf ses en svag tendens til at EC stiger under passage af Boks 1 og 2, men herefter ligger på samme niveau gennem de resterende Bokse 3, 4, 5, 6, 7 og 8.

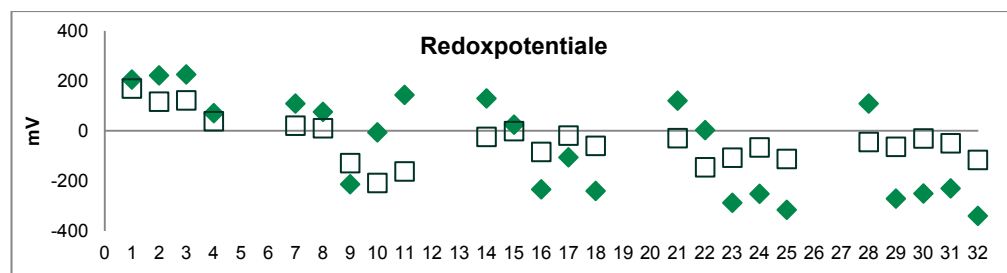


Figur 7.17: Elektrisk ledningsevne (EC) i influent og effluent over forsøgsperioden på 32 dage. Rude = influent. Firkant = effluent.

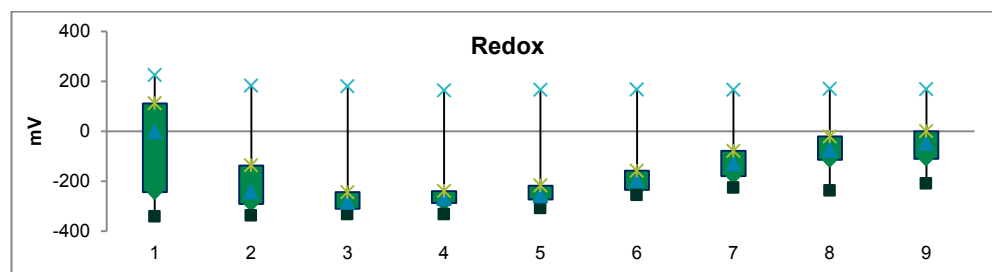


Figur 7.18: Boxplot af alle EC værdier målt i influent (1) og effluent fra de otte bokse (2 – 9) over forsøgsperioden på 32 dage. Se Figur 7.14 for forklaring af boxplot.

**Redoxpotential.** Der er tvivl om hvorvidt den benyttede redoxelektrode målte korrekt, idet der blev målt negativt redoxpotential i prøver hvor der samtidig blev fundet opløst ilt (se næste). Da det overordnede mønster for udviklingen i redoxpotential over forsøgsperioden og i de enkelte bokse i tårnet ser sandsynligt ud, er det valgt alligevel at bringe data. Niveauet for potentialet kan dog ikke tages for pålydende, men skal sandsynligvis forskydes opad. I Figur 7.19 er værdier for redoxpotential i influent og effluent vist for hele forsøgsperioden, mens der i Figur 7.20 er vist boxplots for influent og effluent i hver af de otte bokse. Det ses, at redoxpotential i influent springer op og ned i hele forsøgsperioden, hvilket tilskrives varierende forureningsbelastning i kombination med varierende opholdstid i gråvandstanken. For effluent ses at redoxpotential i opstartsfasen følger influent men derefter stabiliserer sig på et niveau, der er uafhængigt af spring i influent-målingerne. Boxplottet viser at redoxpotential falder ned igennem de første to bokse, for derefter at vende i Boks 3, og herefter langsomt kravle opad under passage af Boks 4, 5, 6, 7 og 8.

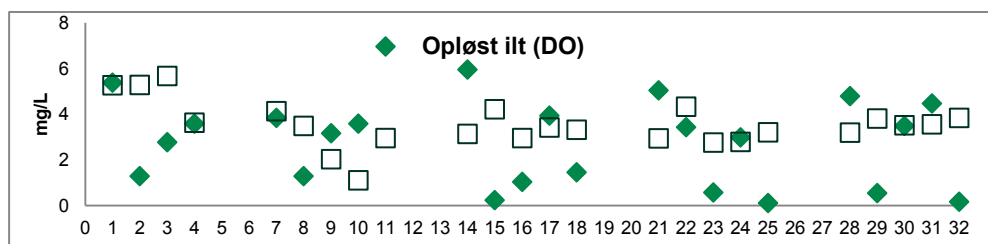


Figur 7.19. Redoxpotential i influent og effluent over forsøgsperioden på 32 dage. Rude = influent. Firkant = effluent. Der er tvivl om redoxmålingens pålidelighed og værdierne på y-aksen kan ikke tages for pålydende – se tekst.

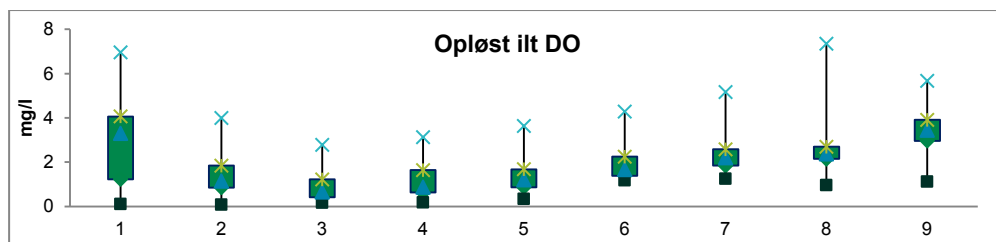


Figur 7.20. Boxplot af alle redoxværdier målt i influent (1) og effluent fra de otte bokse (2 – 9) over forsøgsperioden på 32 dage. Der er tvivl om redoxmålingens pålidelighed og værdierne på y-aksen kan ikke tages for pålydende – se tekst. Se Figur 7.14 for forklaring af boxplot.

**Opløst ilt, DO.** Indholdet af opløst ilt, DO, siger ligesom redoxpotential noget om de vilkår biofilmen arbejder under. I Figur 7.21 er indholdet af ilt i influent vist sammen med iltindholdet i effluent fra tårnet. Det ses at indholdet i effluent, uanset startniveauet, havner på 3-4 mg/L, når biofilmen har stabiliseret sig efter opstartsfasen. Af boxplottet i Figur 7.22 for samtlige målinger i influent samt de otte boks-effluenter, fremgår at iltindholdet falder fra Boks 1 til Boks 3, hvor 25 % kvartilen er tæt på 0, mens vandets indhold af ilt derefter gradvist øges under passage af de 5 fire bokse.

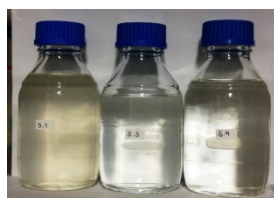


Figur 7.21. Iltindholdet i influent og effluent over forsøgsperioden på 32 dage. Rude = influent. Firkant = effluent.

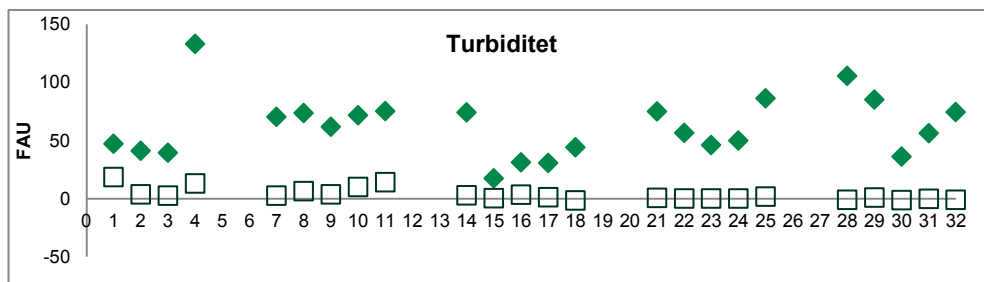


Figur 7.22: Boxplot af alle målinger af iltindhold i influent (1) og effluent fra de otte bokse (2 – 9) over forsøgsperioden på 32 dage. Se Figur 7.14 for forklaring af boxplot.

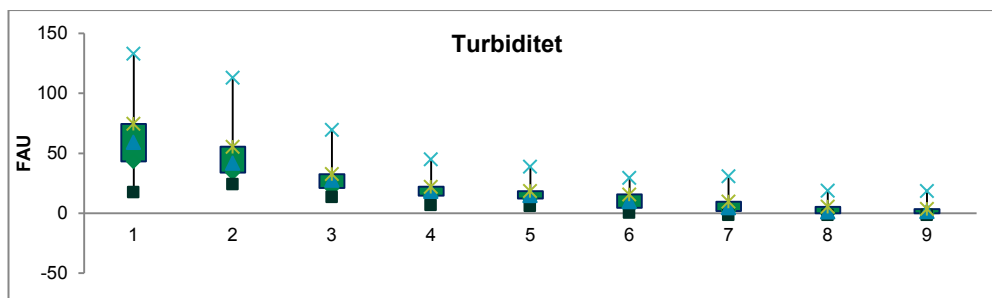
**Turbiditet.** Som observeret i pilotforsøget svinger gråvandets klarhed markant i influent; nogle prøver er næsten helt klare mens andre er tydeligt grå. Hvor stor en forskel der kan være tale om ses tydeligt i Figur 7.23, der viser fotos af prøver udtaget samtidig af influent, samt effluent fra de otte bokse. Klarheden forbedres for hver gang vandet har passeret en boks. Disse forskelle fanges med turbiditetsmålingerne. I Figur 7.24 er turbiditeten af influent vist sammen med turbiditeten i effluent over hele forsøgsperioden, og det ses tydeligt hvordan turbiditeten i alle effluentprøver er markant lavere end influentprøverne, og i hovedfasen i alle tilfælde ligger på et meget lavt niveau omkring 0 FAU, hvilket betyder at en renset gråvandsprøve ikke kan skelnes fra en prøve af almindeligt postevand. Boxplottet i Figur 7.25 for samtlige influent prøver og boks-effluenter viser at allerede efter Boks 4 er turbiditeten kommet langt ned, og i udløbet ligger hovedparten af værdierne omkring 0 (1., 2., og 3. kvartil), mens 4. kvartilværdierne tilskrives opstartsfasen.



Figur 7.23: Visuel dokumentation for ændring i vandets klarhed efterhånden som DPF-Gråvandstårnet passerer. Øverst: Serie med prøver udtaget samtidig fra alle prøvetagningssteder 1-9 en dag i opstartsfasen; yderst til venstre ses influentprøven, herefter effluent fra Boks 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 og 8. Nederst: Serie med prøver af influent (5.1) samt effluent fra Boks 4 (5.5) og Boks 8 (5.9) udtaget samtidig i den sidste uge af hovedforsøget.

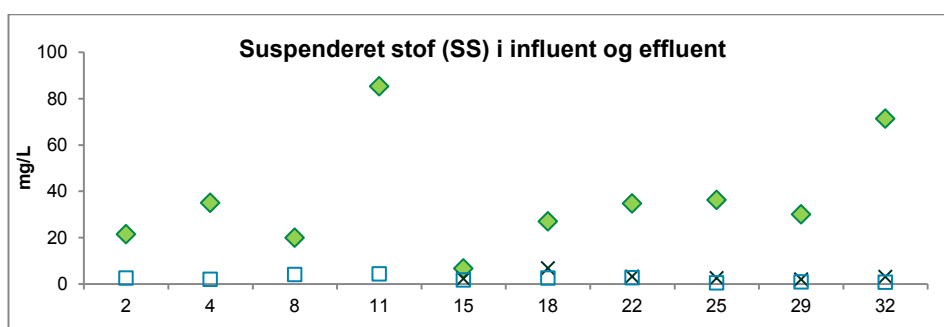


Figur 7.24. Turbiditet af influent og effluent over forsøgsperioden på 32 dage. Rude = influent. Firkant = effluent (Boks 8).

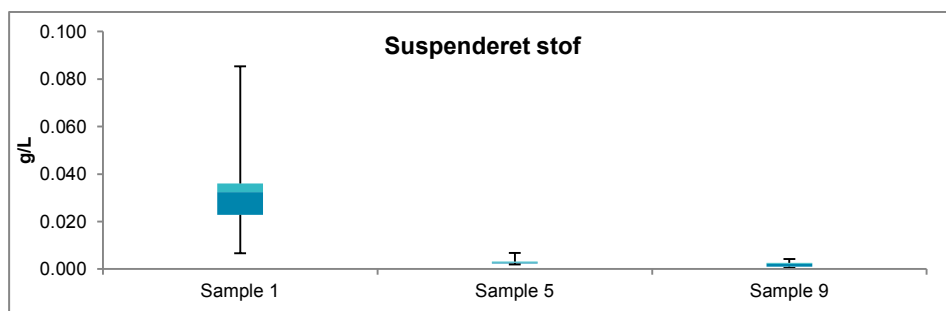


Figur 7.25. Boxplot af alle turbiditetsmålinger i influent (1) og effluent fra de otte bokse (2 – 9) over forsøgsperioden på 32 dage. Se Figur 7.14 for forklaring af boxplot.

**Suspenderet stof, SS.** Indhold af stof, der kan fanges med et 0,7  $\mu\text{m}$  filter, såkaldt suspenderet stof (SS), er vist for influent og effluent over forsøgsperioden i Figur 7.26. Det ses at influent-indholdet svinger betragteligt og kommer op på et maksimalt niveau på omkring 90 mg/L. Under passage af filteret falder indholdet til et lavt niveau, og ligger i hovedfasen på under 2 mg/L. For hovedfasen er der desuden målt suspenderet stof i effluent fra Boks 4. Niveauet ses at ligge marginalt over effluent fra nederste boks, hvilket viser at det suspenderede stof er stort set fjernet efter passage af øverste halvdel af DPF-Gråvandstårnet. I Figur 7.27 er vist et boxplot af SS-værdierne observeret i influent, samt effluent fra Boks 4 (kun data fra hovedfasen) og fra Boks 8. Mønsteret bekræfter observationer i Figur 7.26. Den lidt lavere spredning omkring 2. og 3. kvartil i effluent fra Boks 4 tilskrives at disse værdier kun stammer fra hovedfasen.



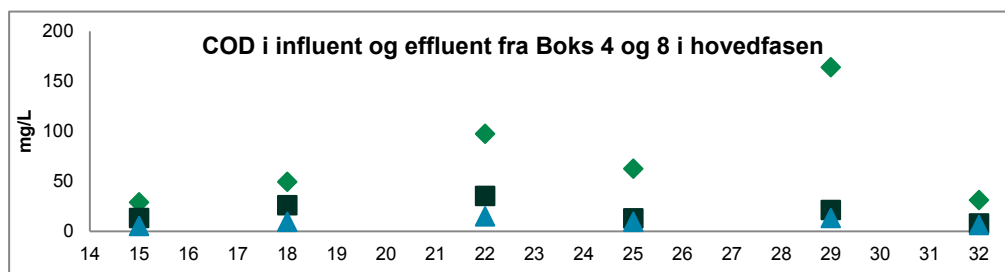
Figur 7.26. Indhold af suspenderet stof (SS) i influent og effluent over forsøgsperioden på 32 dage. Figuren viser også værdierne for indhold af suspenderet stof i effluent fra Boks 4, der blev målt i hovedfasen. Rude = influent. Kryds = effluent Boks 4. Firkant = effluent Boks 8 (med konkrete værdier dag 15-32: 1,8; 2,5; 2,7; 0,5 og 0,8 mg SS/L).



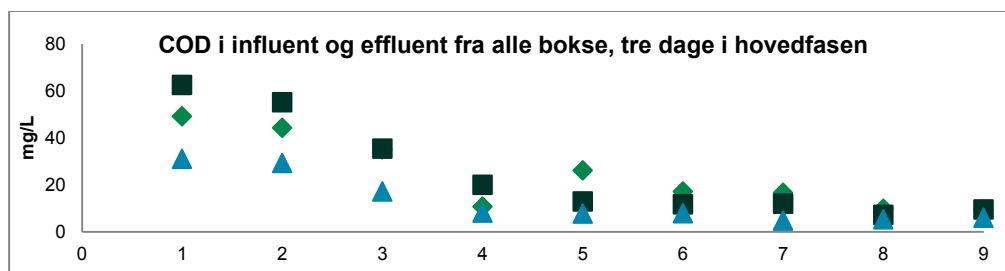
Figur 7.27: Boxplot af målinger af suspenderet stof (SS) i influent (sample 1) og effluent fra Boks 8 (sample 9) gennem hele forsøgsperioden, samt fra Boks 4 (sample 5) gennem hovedfasen. Bemærk enheden er i g/L.

**COD.** Det kemiske iltforbrug (COD) blev bestemt i influent og effluent på seks udvalgte dage i hovedfasen. Som for SS blev effluent af fra Boks 4 inkluderet for at få fornemmelse af procesforløb ned igennem stakken. Resultatet er vist i Figur 7.28. Det ses at COD er højt og variabelt i influent, og at det er reduceret en del når det forlader Boks 4, og ligger på et lavt niveau når det forlader Boks 8. Det ses endvidere at den tendens til at COD i effluent følger influent, der måske kan ses for de første tre målinger synes at være brudt i den sidste periode af hovedfasen, især er resultatet for dag 29 markant – her ses en høj COD-værdi i influent, men lave værdier i effluent fra både Boks 4 og Boks 8.

For at få et endnu bedre kig ind i COD reduktionen ned gennem DPF-Gråvandstårnet blev der på tre udvalgte dage i hovedfasen analyseret COD i alle 9 prøver, dvs. influent og effluent fra de otte bokse. Resultatet er vist i Figur 7.29. Det ses at COD-niveauet falder markant under passage af Boks 2, 3 og 4. Det ses også at data for den første måledag, dag nr. 18, hopper lidt mere ned i gennem stakken (Boks 4, 5 og 6) mens målingerne for de sidste to dage, hørende til slutningen af hovedfasen ligger stabilt allerede fra Boks 4 af.



Figur 7.28: COD i prøver af influent og effluent fra Boks 4 og Boks 8 i hovedfasen analyseret på udvalgte dage (dag nr. 15, 18, 22, 25, 29 og 32). Rude = influent. Firkant = effluent Boks 4. Trekant = effluent Boks 8 (med konkrete værdier dag 15-32: 5,3; 9,4; 14,6; 9, 4; 13,1 og 6,0 mg/L).



Figur 7.29: COD værdier i influent (1) og effluent fra alle otte bokse (2-9) tre forskellige dage i hovedfasen. Rude: dag nr. 18. Firkant: dag nr. 25. Trekant: dag nr. 32.

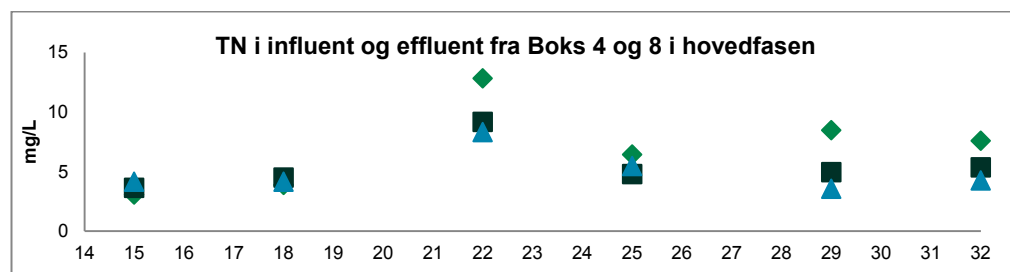


## Næringsstofferne N og P

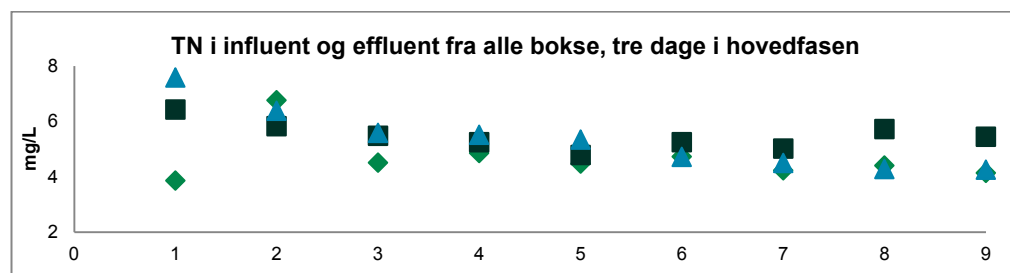
**Kvælstof, N.** Indholdet af kvælstof, N, målt som total-N (TN), og fosfor, P, målt som total-P (TP) blev som for COD's vedkommende analyseret på udvalgte dage i hovedfasen. På seks forskellige dage blev influent analyseret tillige med effluent fra Boks 4 og Boks 8. Tre af dagene blev der også analyseret på effluent fra de øvrige bokse, så forandringerne ned i gennem tårnet i hver enkel boks kunne følges. Værdierne for total-kvælstof er vist i Figur 7.30 og 7.31 og for total-fosfor i 7.32 og 7.33.

Af Figur 7.30 ses at høje kvælstofniveauer i influent (dag 22, 29 og 32) reduceres noget, men indholdet kommer ikke under ca. 4 mg/L. For de tre dage hvor koncentration af TN blev fulgt fra boks til boks ned i gennem tårnet (Figur 7.31), ses en tendens til at fald, men med en del springende værdier.

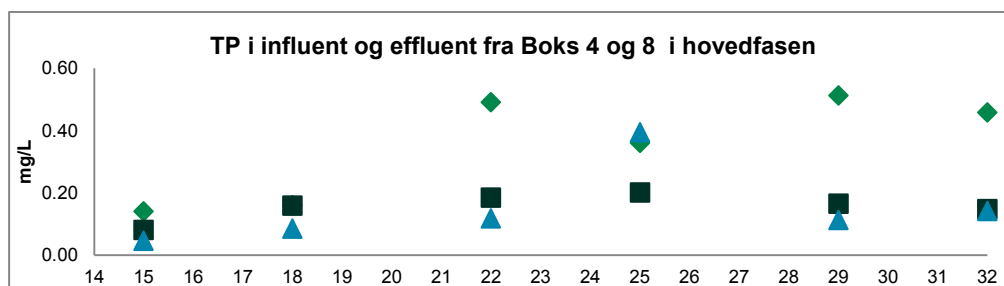
**Fosfor, P.** Et lidt tilsvarende mønster ses for fosfor. Høje indløbskoncentrationer reduceres en del (de sidste fire dage i Figur 7.32), men niveauet kommer ikke langt ned. Når koncentrationen følges fra indløb til udløb over alle bokse, viser de tre udvalgte dage at der er tendens til fald, men at mønsteret afviger, især for dag 25-serien, hvor det ikke kan udelukkes at der er sket en forurening af prøve 6 og 9.



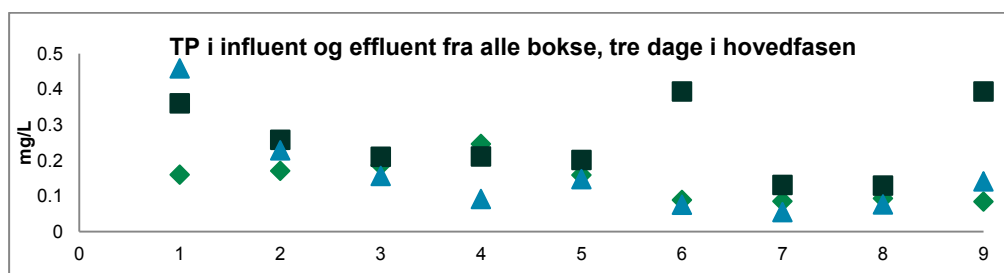
Figur 7.30: Total-kvælstof (TN) i influent og effluent fra Boks 4 og Boks 8 i hovedfasen analyseret på udvalgte dage (dag nr. 15, 18, 22, 25, 29 og 32). Rude = influent. Firkant = effluent Boks 4. Trekant = effluent Boks 8 (med konkrete værdier dag 15-32: 4,1; 4,1; 8,2; 5,4; 3,5 og 4,3 mg N/L).



Figur 7.31: Total-kvælstof (TN) i influent (1) og effluent fra alle otte bokse (2-9) tre forskellige dage i hovedfasen. Rude: dag nr. 18. Firkant: dag nr. 25. Trekant: dag nr. 32.



Figur 7.32: Total-fosfor (TP) i prøver af influent og effluent (fra Boks 8), samt Boks 4 - effluent i hovedfasen analyseret på udvalgte dage (dag nr. 15, 18, 22, 25, 29 og 32). Runde = influent. Trekant = effluent Boks 4. Firkant = effluent Boks 8 (med konkrete værdier for dag 15-32: 0,05; 0,08; 0,12; 0,39; 0,11 og 0,14 mg P/L).



Figur 7.33: Total-fosfor (TP) i influent (1) og effluent fra alle otte bokse (2-9) tre forskellige dage i hovedfasen. Runde: dag nr. 18. Firkant: dag nr. 25. Trekant: dag nr. 32.

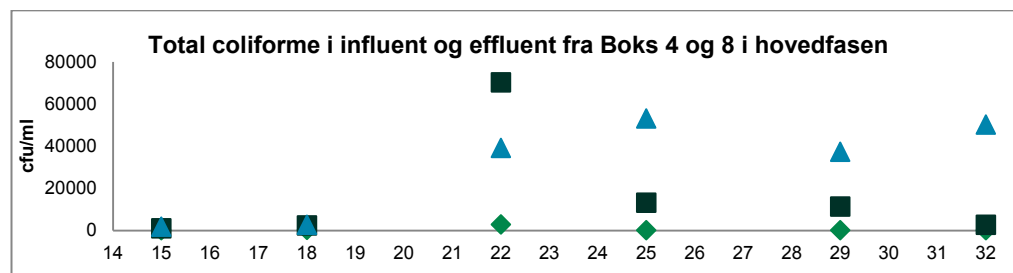
**De mikrobiologiske analyser** blev kun foretaget i hovedfasen og kun på udvalgte prøver efter samme skema som SS, COD, TN og TP gennemgået ovenfor. Resultatet for Total coliforme bakterier er vist i Figur 7.34 og 7.35, for E.coli i Figur 7.36 og 7.37, for kimtal ved 21°C i Figur 7.38 og 7.39, og endelig for kimtal ved 37°C i Figur 7.40 og 7.41. Den første figur hørende til hver parameter viser ændringen fra influent over effluent fra Boks 4 til effluent fra Boks 8, på seks udvalgte dage i hovedfasen. Den anden figur viser på tre udvalgte dage parameterens niveau i influent og i effluent fra alle de otte bokse.

**Total coliforme.** Indholdet af Total coliforme i influent er tæt på 0 dag 15 og 18, men på de resterende prøvedage er der fundet coliforme bakterier i influent. Det ses af figur 7.34 at antallet er væsentligt reduceret efter passage af Boks 4 og i effluent fra Boks 8 er der få (dag 22) eller ingen (dag 25, 29 og 32) coliforme bakterier i udløbsvandet. Når Total coliforme følges på dag 25 og 32 ned i gennem tårnet, som vist i Figur 7.35, ses det at indholdet falder jævnt, og efter passage af Boks 4 har nået slutniveauet. Der sker dermed en god fjernelse af totale coliforme. Den dårligste fjernelse sås dag 22, hvor der stadig var over 2000 bakterier i effluent fra Boks 8.

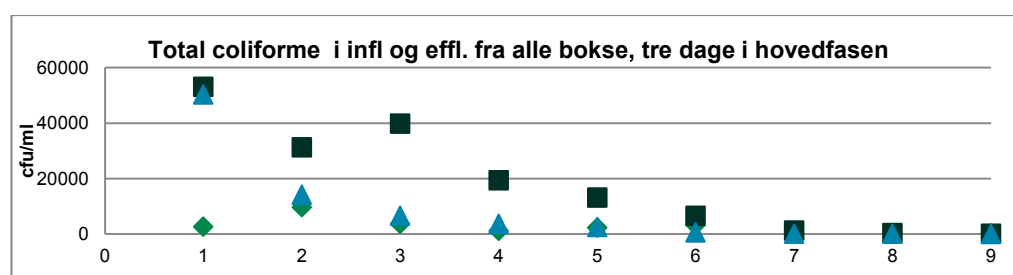
**E. coli** blev kun fundet i forhøjet koncentration i en enkelt indløbsprøve, nemlig den fra dag 22 hvor der blev målt omkring 2000 cfu/ml (Figur 7.36). Under passage af tårnet faldt niveauet markant efter passage af Boks 4 og var i effluent fra Boks 8 på 85 cfu/ml (Se Figurtekst). Da dag 22 ikke var udvalgt til fuld analyse af alle effluentprøver kunne denne høje koncentration ikke følges nærmere ned igennem tårnet. Af Figur 7.37 fremgår det at effluent fra Boks 1 (prøve 2) dag 18 tilsyneladende indeholdt E. coli i koncentration omkring 1700 cfu/ml, men da analyser af effluent fra efterfølgende bokse viste niveau under detektionsgrænsen antages denne værdi at være en fejlmåling eller forurening efter udtagning af prøve.

**Kimtal ved 21°C og 37°C** kunne findes i alle influentprøver, dog i stærkt varierende koncentration. Som det ses af Figur 7.38 og 7.40 er niveauet markant lavere i effluent fra Boks 4 og på et lavt niveau i alle effluentprøver fra Boks 8. Af de konkrete effluent-niveauer fra Boks 8

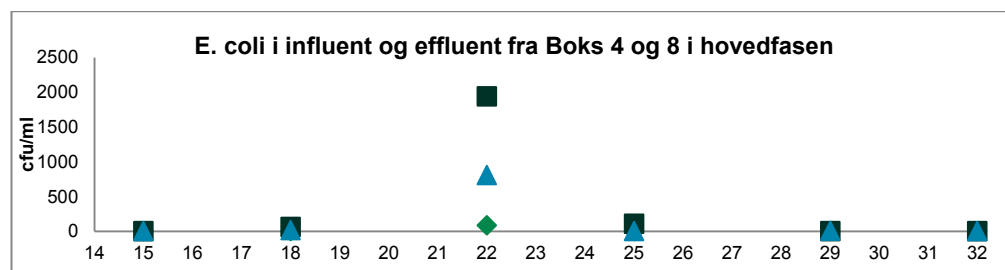
(listet i figurteksterne) ses der at være en tendens til at niveauerne er lavere sidst i hovedfasen, sammenlignet med tidligt i fasen. Når kimtalstællingerne følges ned i gennem stakken på tre udvalgte dage ses en jævn reduktion.



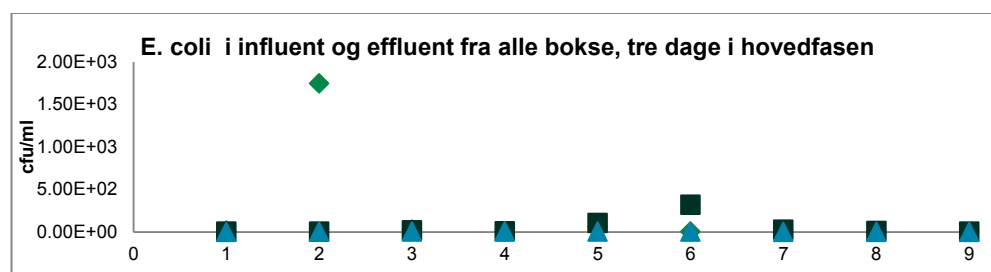
Figur 7.34: Total coliforme bakterier i influent og effluent fra Boks 4 og Boks 8 i hovedfasen analyseret på udvalgte dage (dag nr. 15, 18, 22, 25, 29 og 32). Trekant = influent. Firkant = effluent Boks 4. Rude = effluent Boks 8 (med konkrete værdier, dag 15-32: 35, 125, 2744, 58, 81 og 0).



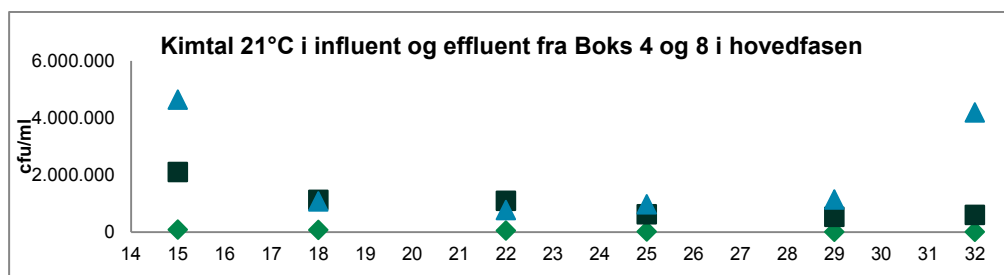
Figur 7.35: Total coliforme bakterier i influent (1) og effluent fra alle otte bokse (2-9) tre forskellige dage i hovedfasen. Rude: dag nr. 18. Firkant: dag nr. 25. Trekant: dag nr. 32.



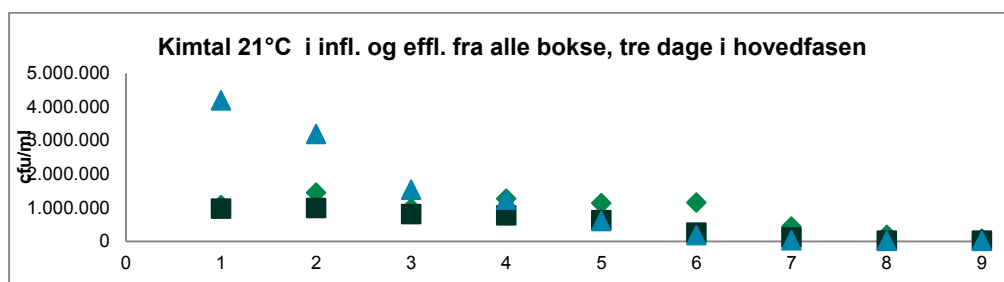
Figur 7.36: E. coli i influent og effluent fra Boks 4 og Boks 8 i hovedfasen analyseret på udvalgte dage (dag nr. 15, 18, 22, 25, 29 og 32). Trekant = influent. Firkant = effluent Boks 4. Rude = effluent Boks 8 (med konkrete værdier, dag 15-32: <1, 0, 85, 2, <1, og 0)



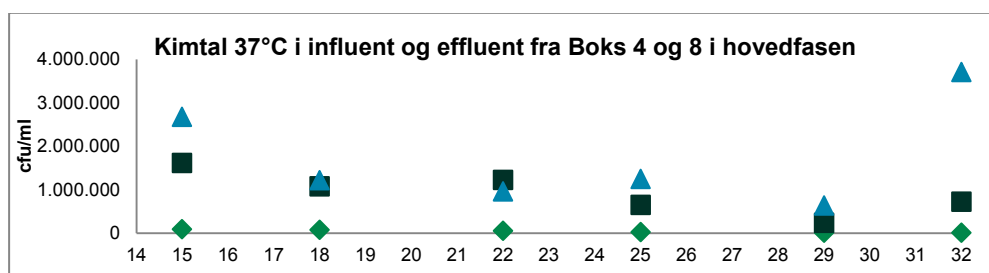
Figur 7.37: E. coli i influent (1) og effluent fra alle otte bokse (2-9) tre forskellige dage i hovedfasen. Rude: dag nr. 18. Firkant: dag nr. 25. Trekant: dag nr. 32.



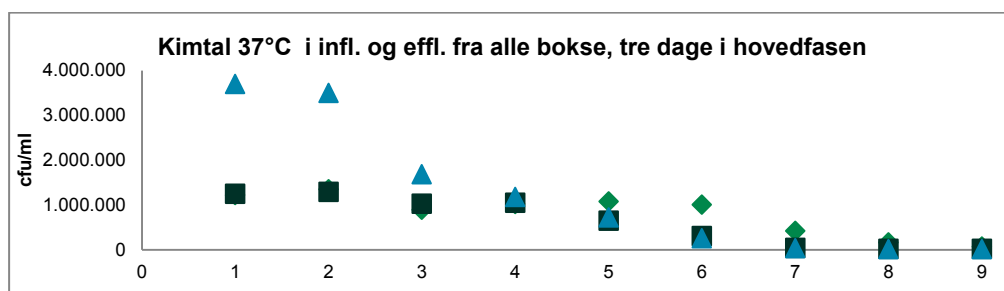
Figur 7.38: Kimtal ved 21°C i influent og effluent fra Boks 4 og Boks 8 i hovedfasen analyseret på udvalgte dage (dag nr. 15, 18, 22, 25, 29 og 32). Trekant = influent. Firkant = effluent Boks 4. Rude = effluent Boks 8 (med konkrete værdier, dag 15-32: 75.083, 72.375, 45.000, 9.750, 1000, og 2713).



Figur 7.39: Kimtal ved 21°C i influent (1) og effluent fra alle otte bokse (2-9) tre forskellige dage i hovedfasen. Rude: dag nr. 18. Firkant: dag nr. 25. Trekant: dag nr. 32.



Figur 7.40: Kimtal ved 37°C i influent og effluent fra Boks 4 og Boks 8 i hovedfasen analyseret på udvalgte dage (dag nr. 15, 18, 22, 25, 29 og 32). Trekant = influent. Firkant = effluent Boks 4. Rude = effluent Boks 8 (med konkrete værdier, dag 15-32: 84.667, 67.875, 50.375, 15.750, 917, og 4.438).



Figur 7.41: Kimtal ved 37°C i influent (1) og effluent fra alle otte bokse (2-9) tre forskellige dage i hovedfasen. Rude: dag nr. 18. Firkant: dag nr. 25. Trekant: dag nr. 32.

### 7.4.3.3 Resultat af Isco-prøver

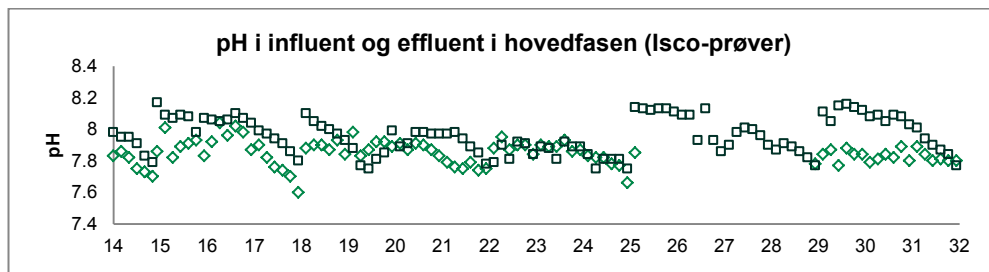
I hovedfasen blev der automatisk udtaget en fraktion af influent og effluent til og fra DPF-Gråvandstårnet hver 4. time. Disse prøver blev analyseret for pH (Figur 7.42), elektrisk ledningsevne, EC (Figur 7.43) og turbiditet (Figur 7.44). Prøver hørende til døgn nr. 15, 18, 22, 25, 29 og 32 blev herefter hældt sammen døgnvis til én prøve, der blev analyseret for suspenderet stof, SS (Figur 7.45). Influent-data mangler for dag 26-28 på grund af nedbrud i fraktionsopsamlere.

Det ses at pH målt i Isco-prøverne svinger op og ned på samme måde som i de manuelle prøver, men inden for et lidt snævrere interval, hvilket sandsynligvis blot afspejler at der er målt på større volumener. På baggrund af isco-prøverne ser der ud til at være en tendens til at pH i effluent ligger lidt højere, op til ca. 0,2 pH-enheder i effluent, men ikke i alle tilfælde.

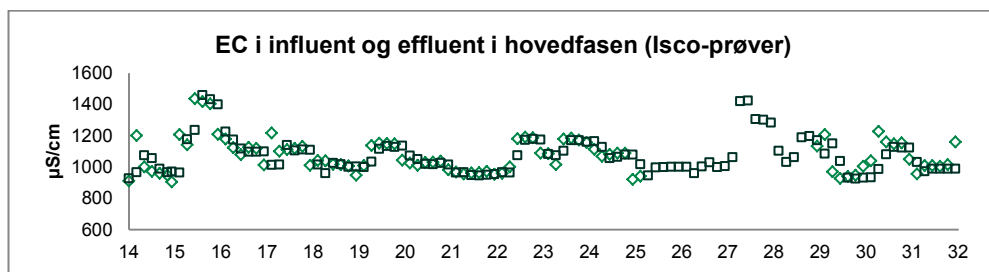
For elektrisk ledningsevne, EC, ligger værdierne i Isco-prøverne i samme interval som de manuelle prøver. Ud fra Isco-målingerne ser det ud til at influent- og effluentværdierne generelt følges ad.

Turbiditetsmålingerne er også i fin overensstemmelse med de manuelle prøver. Influent varierer inden for et lidt mindre interval, og effluent ligger med lave værdier over hele forløbet. Omkring dag 25 og 29 ses nogle små stigninger i effluent-turbiditet, der ikke blev observeret i de manuelle prøver. Selv om der er tale om lave niveauer, er det noget der bør følges op på i evt. nye forsøg.

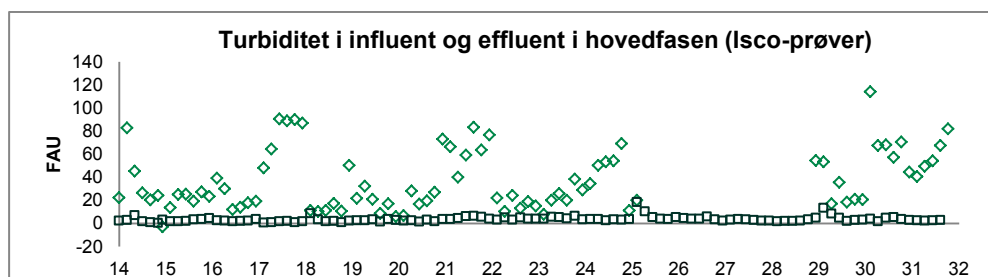
Suspenderet stof, SS, i døgnprøver fra 6 udvalgte dage i hovedfasen, ligger på samme niveau som de manuelle prøver, dog er variationsintervallet indsnævret, igen sandsynligvis på grund af større prøvevolumen. Højeste niveau i influent er 30 mg/L, og højeste niveau i effluent er 4 mg/L.



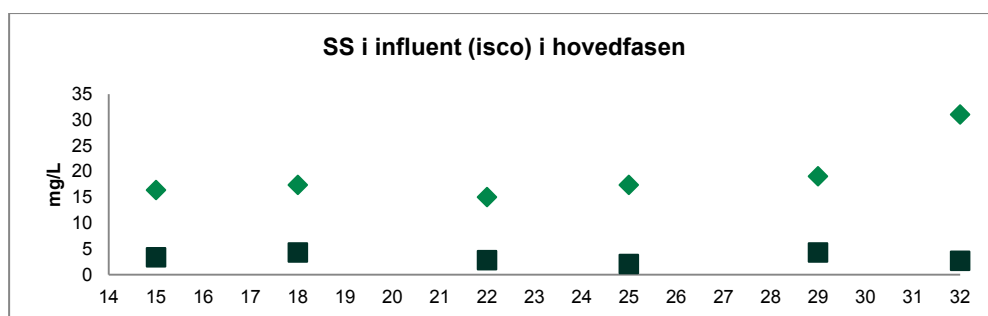
Figur 7.42: pH i influent og effluent i hovedfasen, målt på Isco-prøver udtaget hver 4. time døgnet rundt. Rude = influent. Firkant = effluent.



Figur 7.43: Elektrisk ledningsevne, EC, i influent og effluent i hovedfasen, målt i Isco-prøver udtaget hver 4. time døgnet rundt. Rude = influent. Firkant = effluent.



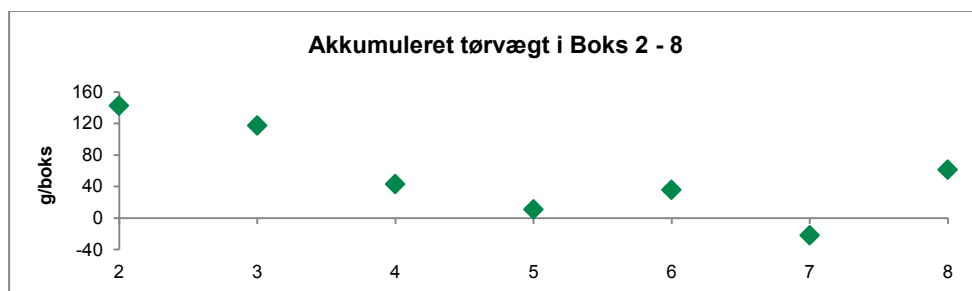
Figur 7.44: Turbiditet i influent og effluent i hovedfasen, målt i Isco-prøver udtaget hver 4. time døgnet rundt. Rude = influent. Firkant = effluent.



Figur 7.45: Suspenderet stof i influent og effluent i 6 udvalgte døgnprøver fra hovedfasen, baseret på sammenhældt Isco-prøver. Rude = influent. Firkant = effluent.

#### 7.4.3.4 Akkumuleret tørstof i bokse og på net, samt visuel inspektion

Tørvægten af akkumuleret materiale i hver boks er vist i Figur 7.46. Da der er tale om forholdsvis små akkumulerede mængder set i forhold til vægten af renselagene er der tale om en usikker bestemmelse (Figur 7.47). Dette bekræftes af at målingen for Boks 7 returnerer et negativt tal.



Figur 4.46: Akkumuleret tørvægt i de fem renselag, i hver af boksene 2 – 8, efter gennemførelse af fuldskalafor-søg.



Figur 7.47: Efter afdræning og fotografering af de enkelte lag, blev alle lagene tørret i oven for bestemmelse af akkumuleret tørstof (Figur 7.46).

Efter forsøgets afslutning blev DPF-Gråvandstårnet afdrænet, og boksene afmonteret, og alle lag i hver boks fotograferet, mens de stadig lå i boksen. To personer løftede op i lagene, mens en tredje person fotograferede. Resultatet bringes boksvis nedenfor; først for Boks 1 (Figur 7.48), der fungerede som forfilter, og derefter for Boks 2-8 (Figur 7.49 – 7.55). Der er for hver boks udvalgt midterlaget. Ved inspektionen kunne det konstateres at fordelingen af biofilm og sediment på de fem renselag i hver boks var nogenlunde jævn. For overskuelighedens skyld er der kun vist fotos af midterlaget i hver af boksene 2-8. Med det formål bedre at vurdere biofilmens udbredelse ned i gennem DPF-tårnet, er Enkadrain- og Enkamatnettene fra midterlaget i hver boks opstillet ved siden af hinanden i Figur 7.56, mens der i Figur 7.57 er zoomet ind på et tilfældigt område i Enkamatnettet i midterlaget for hver boks. Tilsvarende er Icopalplade-fangstlaget med nedadvendte huller fra midterlaget af hver boks sammenstillet i Figur 7.58.

**Boks 1 (Forfilter)**, Figur 7.48. Forfilteret fangede partikler og hår. Der udviklede sig en kraftig biofilm lige omkring indløbshullet i boksen. Øverste sediment-fangstplade tilbageholdt en del sediment, mens under liggende plader var næsten rene. Restvand i bund af boks, dvs. vand er ikke drænede af efter hver batch indeholdt en del sediment af mørk farve hvilket tyder på anaerobe forhold.





Figur 7.48: Fotos af specialbyggede Boks 1 (forfilter) efter forsøg. Øverst: hårfilter i form af enkamat-rulle og øverste sedimentfangstplade. Den hvide slange hører til ISCO-sampleren. Zoom på område med biofilm. Nederst: Underside af plade 2 og overside af plade tre, samt tom boks med restvand og sediment.

**Boks 2 – 8,** (Figur 7.49 – Figur 7.55). Fotodokumentation bekræfter det billede vandanalyserne tegner. Der er kraftig aktivitet i Boks 2 og 3 med tydelig grå biofilm og en del sediment. Dette aftager ned i gennem stakken og i de sidste bokse ser plader og net næsten rene ud. Der er dog fortsat materiale afsat også i den sidste boks, Boks 8.

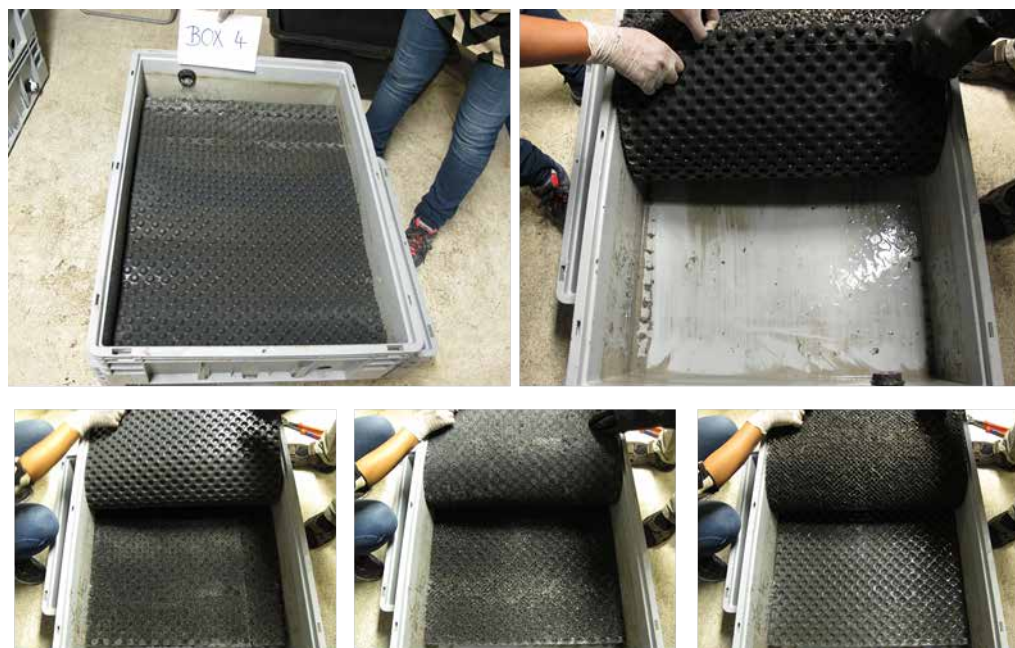


Figur 7.49: Fotos af Boks 2 efter forsøg. Øverst: Afdrænet boks med øverste plade (t.v.) og bund af boks (t.h.). Nederst: Kig ind i midterlag; med øverste icopalplade og enkadrain (t.v.), mellem enkadrain og enkamat (midt), og nederste icopalplade.

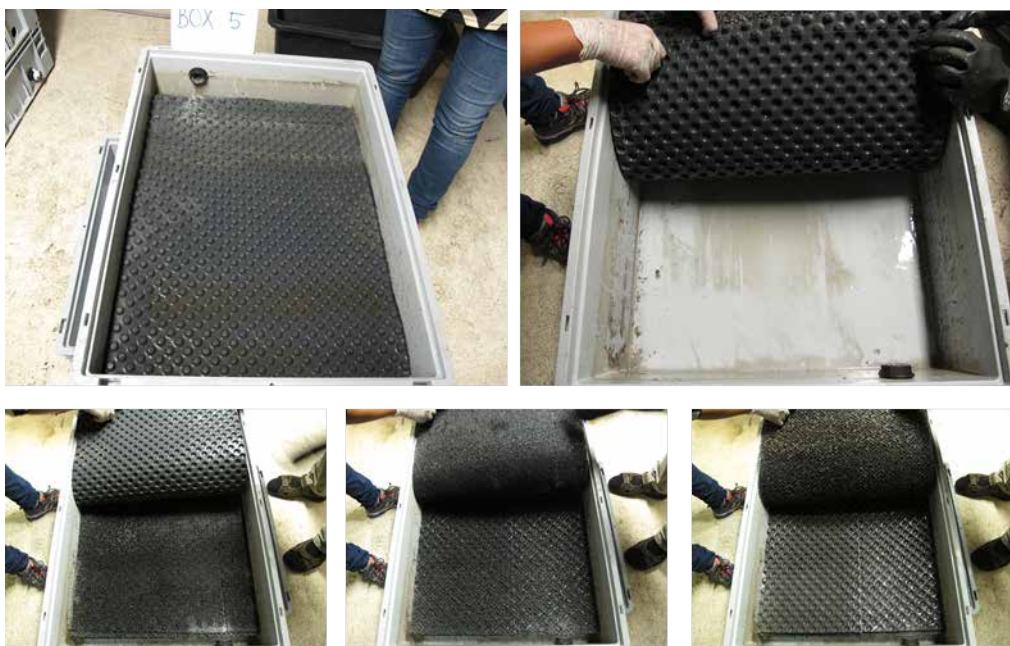




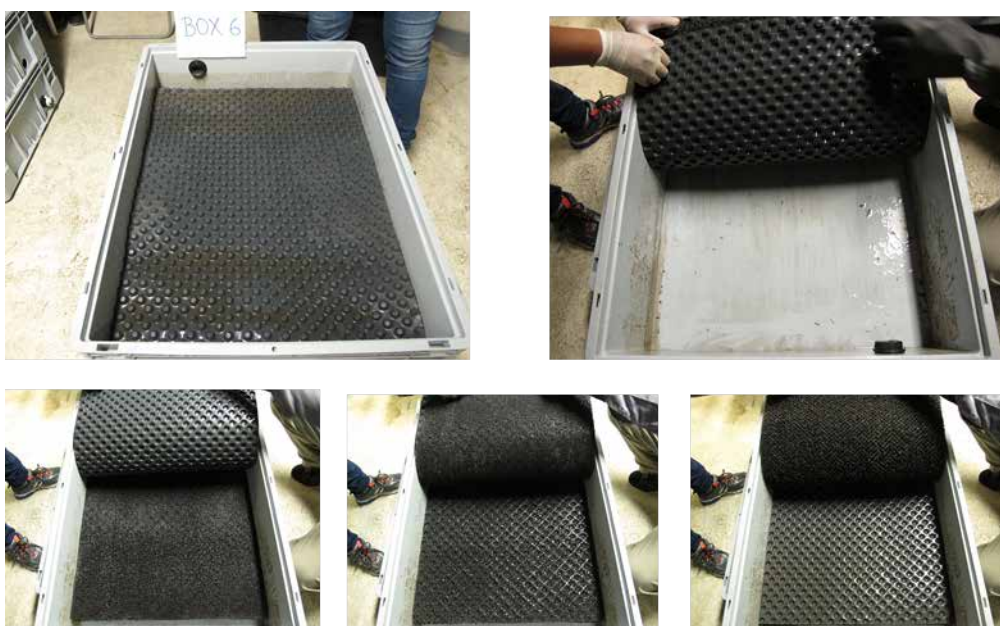
Figur 7.50: Fotos af Boks 3 efter forsøg. Se Boks 2 forklaring.



Figur 7.51: Fotos af Boks 4 efter forsøg. Se Boks 2 forklaring.

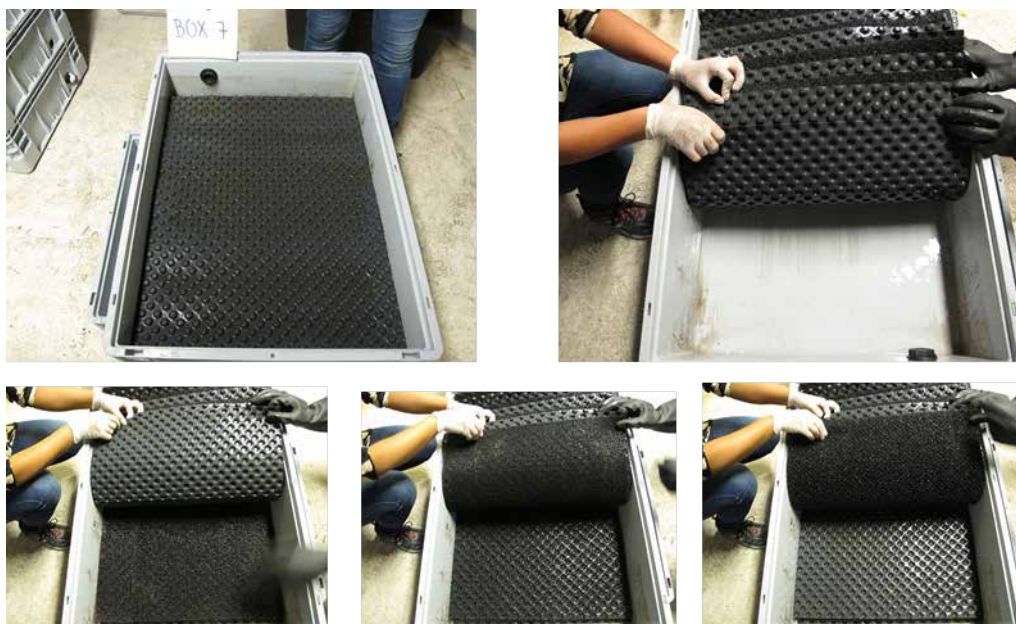


Figur 7.52: Fotos af Boks 5 efter forsøg. Se Boks 2 forklaring.

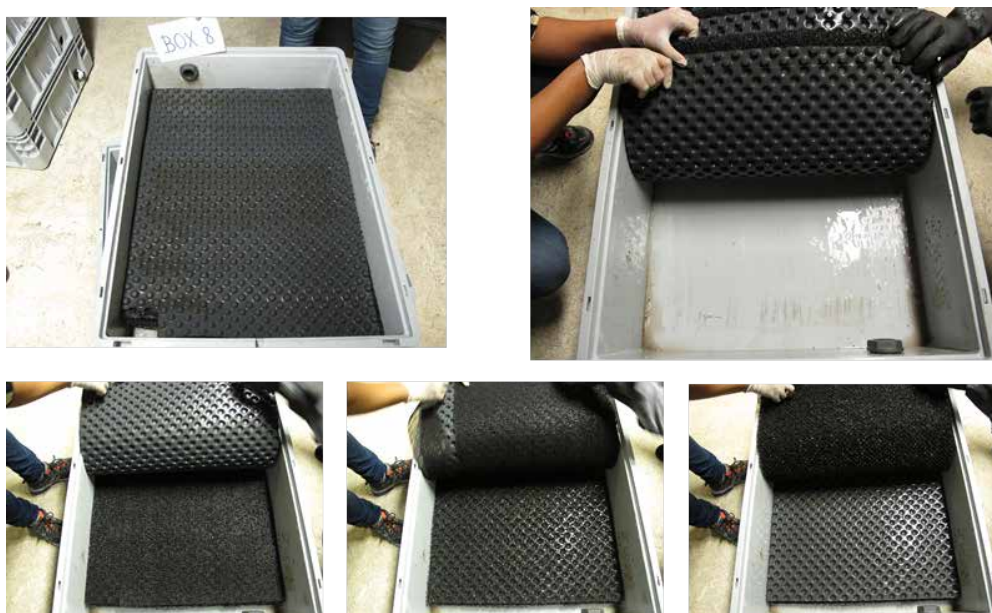


Figur 7.53: Fotos af Boks 6 efter forsøg. Se Boks 2 forklaring.



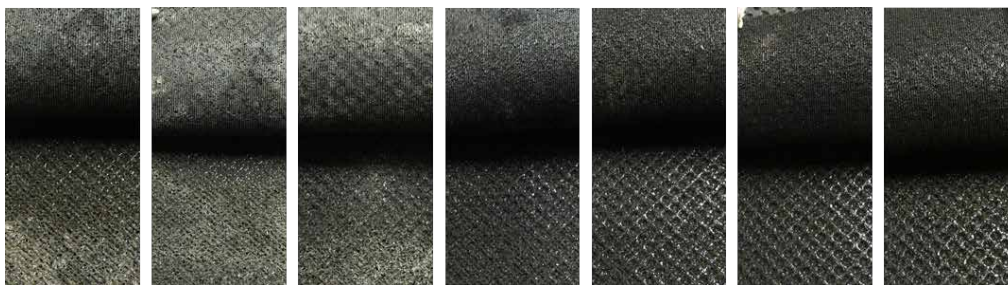


Figur 7.54: Fotos af Boks 7 efter forsøg. Se Boks 2 forklaring.



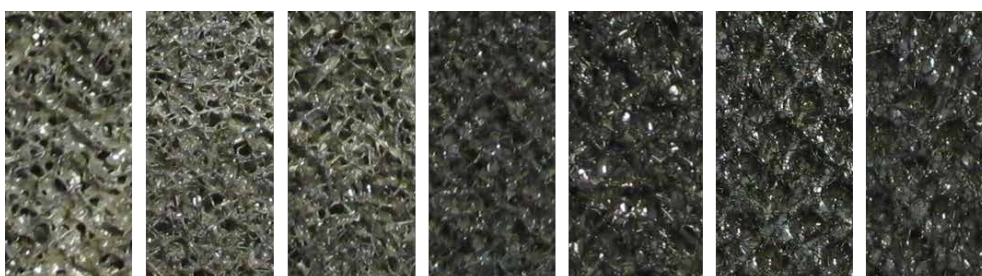
Figur 7.55: Fotos af Boks 8 efter forsøg. Se Boks 2 forklaring.

Biofilmens udvikling ned i gennem DPF-Gråvandstårnet er forsøgt illustreret i Figur 7.56. Her er det midterste lag i hver af boksene 2-8, fotograferet mens der løftes op i net og plader, så man øverst kan se undersiden af Enkadrainnettet, der ligger under Icopalpladen med opadvendte hulrum, og nederst det grovere Enkamatnet, der ligger over Icopalpladen med sedimentfangsthuller. Den grå biofilm har dækket nettene i Boks 2, 3 og 4 og aftager så kraftigt i Boks 5, 6, 7 og 8, hvor nettene fremstår sorte og uden biofilm, og hvor Icopalpladen under Enkamatnettet ses tydeligt.



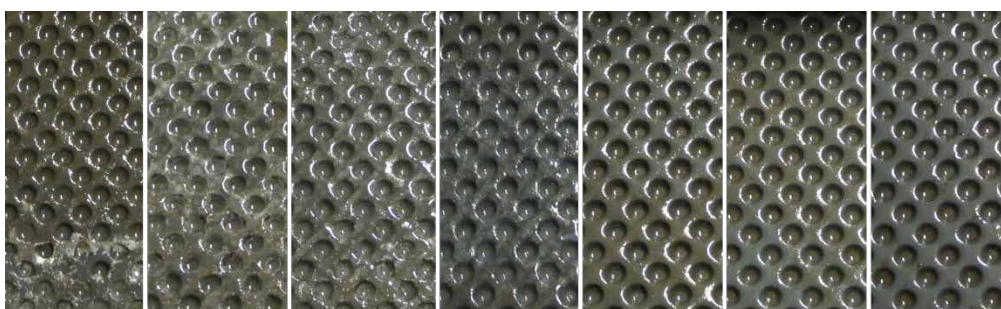
Figur 7.56: Dokumentation af biofilm udvikling ned i gennem DPF-Gråvandstårnet, fra Boks 2 (yderst til venstre) til Boks 8 (yderst til højre). Fotos af midterlag i hver boks, hvor man kigger ind i mellem de to net, beregnet til at understøtte biofilm. Øverst i hvert foto ses det finere Enkadrainnet, og nederst det grovere Enkamagnet. (Samme foto som midter-fotoet i nederste række i Figur 7.49 – 7.55).

Hvis der zoomes endnu mere ind, kan biofilm-gradienten fra Boks 2 til Boks 8 ses endnu tydeligere (Figur 7.57).



Figur 7.57: Forstørret billede af Enkamagnetet i midterlaget i hver af boksene 2-8, med Boks 2 yderst til venstre og Boks 8 yderst til højre.

De nedadvendte Icopalpladers evne til at akkumulere sediment er i Figur 7.58 forsøgt illustreret ved at zoome ind på denne plade i midterlaget i hver boks. Det ses at pladerne er dækket med et gråligt sediment, der aftager fra top til bund. Nederste plade (Boks 8) fremstår således nærmest ren. Det bemærkes at der ikke ser ud til at være mere sediment i bunden af hullerne end på selve pladen.



Figur 7.58: Forstørret billede af nederste Icopalplade med nedadvendte huller fra midterlaget i hver af boksene 2-8, med Boks 2 yderst til venstre og Boks 8 yderst til højre.

#### 7.4.4 Diskussion af resultater i fuldskalaforsøg

Overordnet set forløb fuldskalaforsøget tilfredsstillende, hvilket bekræftes af stabile flowrater, stabile temperatur, pH og EC målinger. Det lykkedes at følge monitoringsprogrammet med få mistede prøver. Som nævnt var det planlagt at måle BOD<sub>5</sub>, men disse målinger fungerede ikke, og vi har derfor kun COD-målingerne som direkte udtryk for reduktion i organisk materiale. Centrale spørgsmål knytter sig til flow, biofilm, passiv beluftning, stagnat vandlag og opnået vandkvalitet.

**Flow og forfilter/Boks 1.** Det opnåede flow holder sig stabilt gennem forsøgsperioden (Figur 7.13). Det viser at DPF-Gråvandstårnet kan producere omkring 1 m<sup>3</sup> rensat vand i døgnet, og at vandet kan drives af tyngdekraften gennem tårnet. At flowet holder sig konstant viser at der ikke opstår problemer med tilstopning. Boks 1 fungerede som forfilter. Funktionen af denne boks var fjernelse af hår i netrulle og sedimentation af større partikler, før indløb til efterfølgende syv bokse. Hårfilteret virkede fint. Det blev udskiftet ugentligt. Der udviklede sig en biofilm ved indløbet til hårfilteret, denne blev dog begrænset på grund af hyppig udskiftning. Det vurderes at ugentlig udskiftning er oftere end nødvendigt. Sedimentfangst var tydelig på øverste, men begrænset på underliggende plader. Til gengæld var der en del sediment i restvandet i bunden af boksen, hvilket muligvis er udskyllet fra øvrige plader i forbindelse med dræning. Det er vigtigt at bevare udløbet fra Boks 1 som et dykket udløb og at undgå fuld afdræning, for ikke at overføre flydestoffer og sediment til næste boks. Der sås som ventet ingen biofilmudvikling på sedimentfangstplader.

**Udvikling af biofilm i Boks 2-8 og passiv iltning.** Udvikling af biofilm er dokumenteret dels ved visuel inspektion af net i de 8 bokse efter forsøg, dels indirekte ved fjernelse af mikrobielt nedbrydelige bestanddele, både samlet set fra indløb til udløb, og ned i gennem DPF-Gråvandstårnet ved sammenligning af individuelle bokse.

Det ser ud til at en opstartsfase på to uger ikke er helt skæv i forhold til at opnå passende udvikling af biofilm. Redox (Fig. 7.19) og iltindhold (Fig. 7.21) ligger på stabile niveauer efter opstartsfasen, hvor også COD (Fig. 7.28) og mikrobiologiske parametre (7.34, 7.36, 7.38, og 7.40) uanset startniveau kommer ned på et lavt udløbsniveau i hovedfasen, hvilket må tilskrives en aktiv biofilm. Følges udviklingen af samme parametre ned igennem boksene (box-plots) ses at redoxpotentiale (Fig. 7.20) og iltindhold (Fig. 7.22) dykker i Boks 2 og 3, hvilket indikerer kraftig mikrobiel aktivitet, for derefter at stige mod udløbet. Dette viser at mængden af ilt, der er til rådighed for hver batch kommer mere og mere i overskud mod udløbet. Det konstateres at hele tårnet holder sig aerobt gennem hele forløbet. Dermed konstateres det også at mængden af atmosfærisk ilt indespærret i hver sandwich har været tilstrækkelig. Forlængelse af opstillingen med endnu en boks vil sandsynligvis resultere i et endnu højere iltindhold i vandet.

Turbiditetsmålingerne i ISCO-prøver udtaget hver 4. time viser to små stigninger i hovedfasen. Det kan ikke udelukkes at dette skyldes løsrevet biofilm, hvilket der bør følges op på ved efterfølgende forsøg. Det kan være aktuelt at efterpolere gråvandet via passage af et sandfilter eller lignende.

Visuel inspektion viste at Boks 2, 3 og 4 havde tydeligt udviklet biofilm, mens biofilmen aftog kraftig herunder og var stort set fraværende i boks 7 og 8 (Figur 7.49 – 7.57). Dette kunne tale for at nøjes med at benytte Boks 2 – 6 til mikrobiel rensning i biofilm, og udnytte Boks 7 og 8 til en efterpolering.

Der var ingen tydelig forskel mellem biofilmens udvikling i de to typer net (Figur 7.56), og man kunne derfor overveje at nøjes med Enkamatnettet, der giver bedst mulighed for strømning, evt. foldet, til større tæthed.

**Stagnant vandlag for sedimentfangst.** Sedimentfangsten på nederste Icopal-plade i hvert renselag viste sig at tilbageholde en del sediment (Figur 7.58). Dog syntes sedimentet ikke at ophobe sig specielt meget mere i de nedadvendte huller i nederste Icopalplade, hvorfor man kunne overveje at udskifte denne med en tyndere plade, evt. med et mikrorelief, eller anden form for ruhed. Med en tyndere plade kan der måske blive plads til ekstra behandlingslag i hver boks.

**Opnået vandkvalitet.** At DPF-Gråvandstårnet forbedrer gråvandets kvalitet på alle parametre nævnt i Tabel 7.1 er der ingen tvivl om. Biofilmen gør dermed arbejdet godt, fjerner sammen

med forfilteret (Boks 1) de makroskopiske bestanddele i vandet, og leverer vand med lav turbiditet, lavt indhold af suspenderet stof, pænt iltindhold og lav COD. Mængden af bakterier er også kraftigt reduceret. Med klart vand, og begrænset indhold af bakterier er det rimeligt at antage at et efterfølgende hygiejniseringsstep vil fungere godt. Sammenlignes opnået vandkvalitet med data for Nordhavnsgrården (Se 9.1.3, tabel 9.6, målested A7) ses de sammenlignelige data, dvs. turbiditet, suspenderet stof og COD at ligge på samme niveau eller bedre med DPF-Gråvandstårnet. Det faktum at der fortsat er en del N og P i vandet er til gengæld ikke så godt, eftersom dette kan give grobund for bakterier i rørsystem og tanke på rentvands-siden, og kræver modifikation, se anbefaling 7 nedenfor.

#### 7.4.5 Konklusion og anbefalinger for videre teknologiudvikling

Det konkluderes at det overordnede koncept bag DPF-Gråvand fungerer i forhold til at sikre en markant forbedring af vandkvaliteten, og i forhold til at være en kompakt og ukompliceret løsning, med et lille energiforbrug bestående af pumpe til at løfte vandet fra gråvandstank til øverste boks i DPF-Gråvandstårnet, og herfra til rentvandstank. Ideen med passiv iltning og flow drevet af tyngdekraften vurderes at være en stor succes, der giver teknologien et fortrin frem for andre gråvandsanlæg beregnet til indendørs installation.

Ved et flow på 1,06 m<sup>3</sup>/døgn blev kvaliteten af gråvand opsamlet fra bruser-området i det offentlige bad, Sofiebadet, forbedret efter passage af det otte boks høje DPF-Gråvandstårn. Efter opstartsfasen opnåede udløbsvandet en så lav turbiditet, at det ikke kunne skelnes fra hanevand, et iltindhold omkring 4 mg/L hævet fra et niveau nær 0 mg/L, suspenderet stof under 4 mg/L reduceret fra et niveau op til 90 mg/L, og et COD-niveau under 15 mg/L reduceret fra niveau op til 100 mg/L. Indholdet af bakterier blev decimeret. Total kvælstof og total P blev også reduceret, men kun til omkring 5 mg/L for N og 0,2 mg/L for P, hvilket giver bekymring for om der kan opstå problemer med vækst i efterfølgende installationssystem på rentvands-siden.

Driftsmæssigt vurderes det at hårfilteret i form af sammenrullet Enkamat kan nøjes med at blive udskiftet en gang månedligt. Yderligere drift ved permanentgørelse af opstillingen vil kunne bestå af månedligt at fjerne Boks 2, og lade Boks 3 blive ny Boks 2. Brugt Boks 2 renses og forsynes med rene renselag, og placeres som ny Boks 8. En slags rullende fornyelse. Ved samme lejlighed bør forsyningspumpen efterses.

På baggrund af fuldskalaforsøget kan DPF-Gråvandsteknologien anbefales med følgende forslag til optimering:

- 1) Drænhul i hver boks skal placeres så tæt på bunden som muligt, så volumen i hver boks kan udnyttes fuldt. Dette gælder dog ikke Boks 1, hvor der skal efterlades ca. 2 cm stagnant vand på og desuden være dykket udløb.
- 2) Det er ikke nødvendigt med både Enkadrain og Enkamat. Enkamat anbefales fremover, evt. foldet så der kommer lidt større tæthed mellem trådene.
- 3) Hver boks kan fyldes op til randen med renselag. Det vurderes at der er plads til 3-4 ekstra renselag i hver boks.
- 4) I forlængelse heraf gøres Boks 1 lidt større, så den kan matche ekstra renskapacitet i efterfølgende bokse.
- 5) Icopal-pladen nederst i hvert renselag kan udskiftes med en flad plade uden icopal-huller, gerne med en ru plade, da der ikke var mere sediment i huller sammenlignet med flad del af plade.
- 6) Boks 7 og 8 viste sig at være mere eller mindre overflødige rent renssemæssigt, da effluentkoncentrationen efter passage af disse to bokse ikke var markant anderledes end efter Boks 6.

- 7) For at sikre mod løsrevne stumper af biofilm og for at opnå bedre fjernelse af fosfor, og evt. kvælstof kan det overvejes at indskyde et efterbehandlingsstep i form af et konventionelt filter, f.eks. en søjle fyldt med en blanding af sand og kalk, eller sand og spagnum, evt. også jernspåner. En sådan efterpolering kan evt. indrettes i de nederste bokse i tårnet.

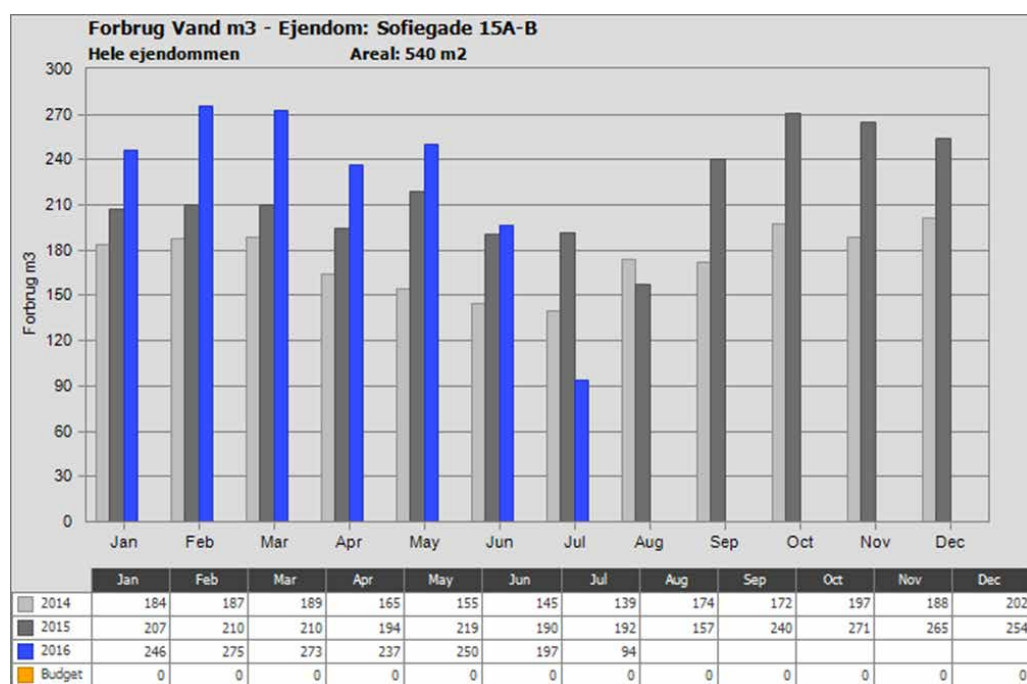


## 8. Infrastruktur

Ved infrastruktur forstås de tanke, pumper, rør, renseenheder, og back-up systemer der skal til for at kunne recirkulere gråvand i Sofiebadet. Spørgsmålet om opnåelse af vandkvalitet og tilladelser behandles i kapitel 9. Der opstilles tre scenarier, som beskrevet nedenfor. Øvrige overvejelser omkring infrastruktur fremgår af kapitel 10, hvor DPF-Gråvands markedsmuligheder er vurderet ved sammenligning med tre eksisterende cases, herunder også anlæg der opsamler regnvand.

### 8.1 Sofiebadets vandforbrug og opstilling af scenarier

Sofiebadet havde i 2015 et årligt vandforbrug på ca. 2.609 m<sup>3</sup>, der fordelte sig over månederne som vist i Figur 8.1. Det skal bemærkes, at der i aflæsningen er inkluderet forbruget i to lejligheder, der er koblet på samme måler. I lejlighederne bor 7 voksne og 2 børn og vandforbruget hertil skønnes at udgøre 400 m<sup>3</sup>/år, hvilket betyder et samlet vandforbrug i Sofiebadet på ca. 2.200 m<sup>3</sup>/år. Der ses en stigning i vandforbruget over de tre år, hvilket tilskrives at Sofiebadet får stadig flere besøgende. Faldet i vandforbrug i juli i 2016 skyldes, at badet var lukket i tre uger. For de videre beregninger af besparelspotentialer fremskrives det årlige vandforbrug til 2.650 m<sup>3</sup>, da badet forventer en stigning i besøgstallet på ca. 20 %. Dette svarer til et gennemsnitligt dagligt vandforbrug på ca. 7,3 m<sup>3</sup>.



Figur 8.1: Sofiebadets vandforbrug 2014, 2015 og første halvdel af 2016 jævnfør udtræk fra [www.agenda2100.keepfocus.dk](http://www.agenda2100.keepfocus.dk). I aflæsningen er inkluderet to lejligheder, der skønnes at forbruge ca. 33 m<sup>3</sup>/måned – se forklaring i tekst.

Den procentvise fordeling af vandmængder til de forskellige vandforbrug er estimeret i Tabel 8.1. Den maksimale produktion af gråvand (spildevand fra bade, håndvaske, vaskemaskine, opvaskemaskine, rengøring) svarer til 96 % af det samlede forbrug. Det ses at selve badene er altdominerende, både i forhold til vandforbrug (75 % går til badene) og produktion af gråvand (78 % stammer fra badene).



Tabel 8.1: Estimat af fordeling af vandforbrug på forskellige funktioner og den tilhørende produktion af gråvand. Opgjort i m<sup>3</sup>/d.

	Aktuelt vandforbrug	Gråvandsproduktion
Køkkenvask	0,05	0
Bade (brusebade m.v.)	5,46	5,46
Håndvaske	0,2	0,2
Toiletter	0,12 (3 skyl/gæstog 4 l/skyl)	0
Vaskemaskine	0,32 (64 l/vask, 5 gange dagligt)	0,32
Glasvasker (Opvaskemaskine)	0,01 (2,5 l/vask, 4 gange dagligt)	0,01
Rengøring	1	1
Andet (vanding, m.v.)	0,1	0
Total	7,25	7,0

### DPF-Gråvandssystem til Sofiebadet

Der vurderes tre forskellige scenarier for gråvandssystemer til Sofiebadet. De adskiller sig dels ved, hvilke kilder gråvandet opsamles fra, og dermed hvor let eller svært det er at rense vandet, dels ved skrappe krav der må forventes at blive stillet. De tre scenarier er beskrevet i Tabel 8.2, og forslag til tilhørende design er vist i henholdsvis Figur 3, 5 og 6.

Scenarie 1 og 2 involverer stort set samme gråvandsmængde, men ved at udelukke mørkt gråvand fra opvaske- og vaskemaskine bliver renseopgaven mindre krævende. I begge scenarier tænkes det rensede vand genbrugt til forsyning af bl.a. brusere, der er det dominerende forbrug. Dette forventes at ville være forbundet med skrappe krav fra myndighederne jf. kapitel 9. I scenarie 3 er ideen om at forsyne bruserne med rensset gråvand opgivet, og der indgår kun forsyningsformål hvor den direkte kontakt med vandet er begrænset. Desuden opsamles kun lyst gråvand.

Tabel 8.2: Oversigt over de vurderede systemdesign for Sofiebadet.

Scenarie	Gråvandskilder	Forsyningsformål	Ide bag design
<b>#1 Maksimal</b>  (Fig. 8.2)	Bade, håndvaske, rengøring, opvaske- og vaskemaskine  Produktionen udgør: 7,0 m <sup>3</sup> /d	Badning, rengøring, tøjvask og toiletskyl  Forbruget udgør: 6,9 m <sup>3</sup> /d	Recirkulering til forsyning af brusere, der er det dominerende forbrug. Både lyst og mørkt gråvand opsamles. Forsyning også ved spidsbelastning.
<b>#2 Mellem</b>  (Fig. 8.4)	Bade, håndvaske og rengøring.  Produktionen udgør: 6,7 m <sup>3</sup> /d	Badning, rengøring, tøjvask og toiletskyl  Forbruget udgør: 6,9 m <sup>3</sup> /d	Recirkulering til forsyning af brusere, der er det dominerende forbrug. Kun lyst gråvand opsamles, som lettere kan opgraderes. Kun forsyning svarende til gennemsnitsbelastning.
<b>#3 Minimal</b>  (Fig. 8.5)	Bade, håndvaske og rengøring.  Produktionen udgør: 6,7 m <sup>3</sup> /d	Rengøring, tøjvask og toiletskyl  Forbruget udgør: 1,44 m <sup>3</sup> /d	Recirkulering kun til mindre og knap så sensitive forbrugsformål.

Som det fremgår, er der i scenarie 1 og 2 stort set ikke forskel på hverken mængden af produceret gråvand eller det potentielle forbrug. Derfor ses der i de to scenarier på situationen ved forskellige behov for gråvand. I scenarie 1 ses der på spidsbelastningssituationen, dvs. de perioder, hvor der er det maksimale antal gæster, og i scenarie 2 ses på gennemsnitsbetragtninger, hvor forbruget og antallet af badegæster fordeles over hele badets åbningstid. I scenarie 3 ses på anlægsudformningen, så behovet for gråvand kan dækkes kontinuerligt.

## 8.2 Vurdering af scenarie 1 (recirkulation af 6,9 m<sup>3</sup> gråvand)

Maksimal recirkulation af alt gråvand vil sige, at hele vandforbruget i Sofiebadet undtagen afløbet fra toiletterne udnyttes, og gråvandspotentialet udgør 7 m<sup>3</sup>/d, jf. Tabel 8.2. Dette er illustreret Figur 8.2.

I scenarie 1 ses på målet, at der recirkuleres så meget gråvand som muligt, så drikkevandforbruget reduceres mest muligt, dog ses der bort fra brug af rensed gråvand til opvaske-maskinen, da vandforbruget hertil er meget lavt. Således udgør scenarie 1 et samlet forbrug af gråvand på 6,9 m<sup>3</sup>/d i Sofiebadet. I dette scenarie genanvendes altså 99 % af gråvandet, når der ses bort fra tab i forbindelse med driftsproblemer og forbrug til rensning af tanke m.v. For at recirkulere alt gråvand skal afløbet fra de enkelte kilder samles i et separat afløbssystem, så kun afløbet fra toiletterne og opvaskemaskinen ledes til det eksisterende afløbssystem.

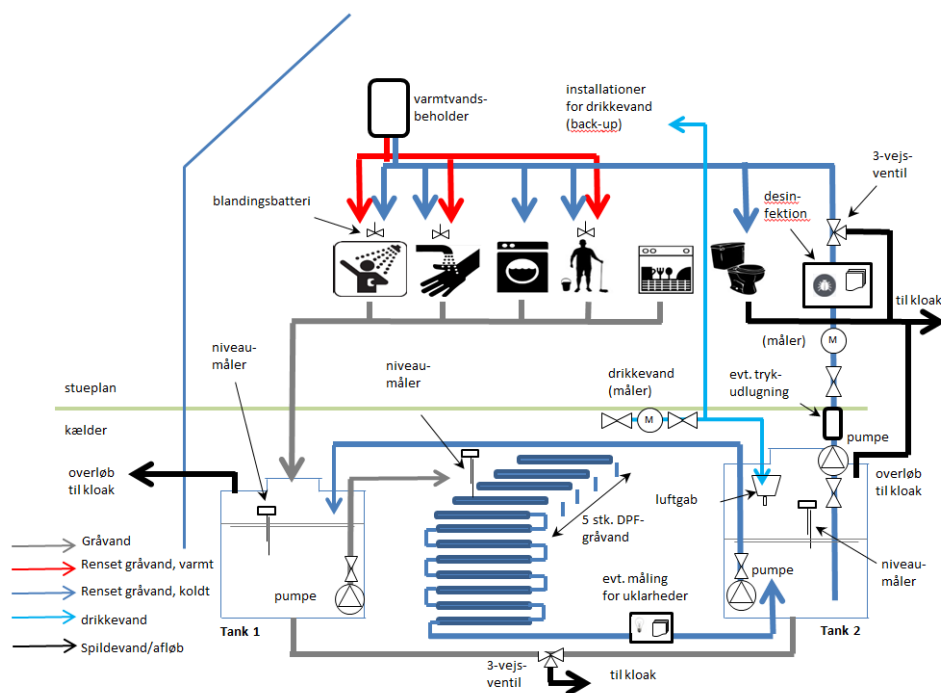
### *Besparelspotentiale*

Det forudsættes, at det er muligt at skalere DPF-Gråvandsanlægget ved at sætte det nødvendige antal rensenheder parralllet med hinanden. Når alt gråvand skal recirkuleres, er det specielt pladsbehovet til rensenhederne og størrelsen af tankene, der bliver en udfordring for at der kan opnås en tilstrækkelig forsyningssikkerhed. Da det antages at en DPF-Gråvand rensenhed kan producere 1,5 m<sup>3</sup> i døgnet skal der benyttes 4,6 rensenheder til at producere 6,9 m<sup>3</sup> på et døgn. Der ses ikke på delvise rensenheder, så anlægget i scenarie 1 består som udgangspunkt af 5 rensenheder med en samlet rensekapa-citet på 0,3 m<sup>3</sup>/t. (se Figur 10)

De 5 rensenheder skal belastes kontinuerligt, og det forudsættes, at der skal kunne være gråvand nok i tank 1 til 23 timers (kontinuerlig) belastning af rensenhederne, hvor badet er lukket (f.eks. søndag kl. 15.00 til mandag kl. 14.00).

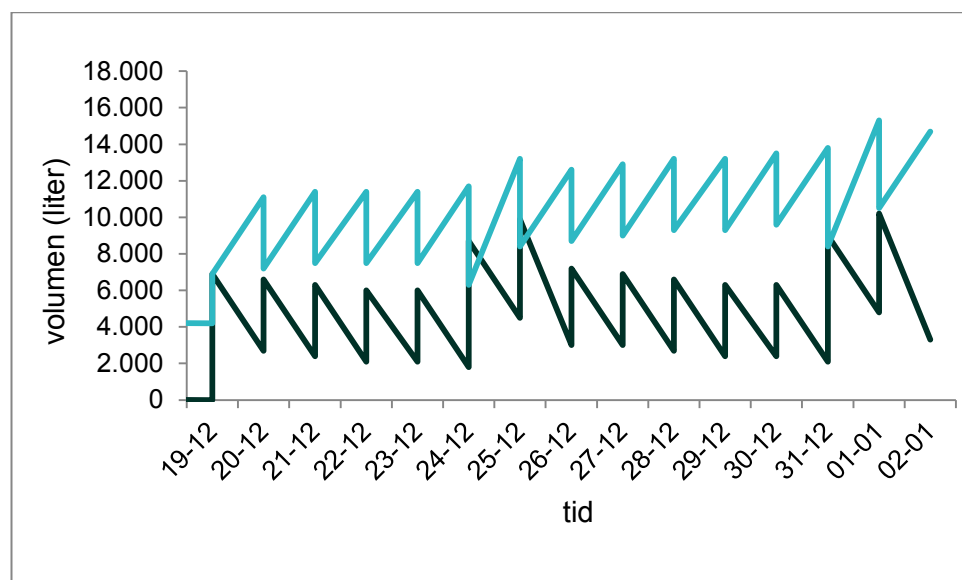
Når regnvand bruges til toiletskyl efter Rørcenteranvisning 003, er der ikke krav om at regnvandet desinficeres, men når gråvand skal bruges til personlig hygiejne i form af brusebad, tøjvask m.v., er det anderledes. Her er det projektgruppens vurdering at myndighederne som minimum vil kræve en desinfektion med uv-belysning, ozonering eller anden desinfektionsmetode af det rensede vand for at dispensation fra Drikkevandsbekendtgørelsens § 3 kan komme på tale.

Da gråvandet i dette scenarie skal bruges til badeformål forudsættes det, at der skal installeres et varmtvandsanlæg med den nødvendige kapacitet, og at opvarmning af desinficeret gråvand kan ske på traditionel vis uden at det giver kvalitetsproblemer. Hvorvidt dette er en realistisk forudsætning vurderes ikke. Udover varmt vand til badeformål forventes det, at der også skal bruges varmt gråvand til håndvaskene og i taphanerne til rengøringsformål. Vaske-maskinen har selv varmelegeme til at opvarme det kolde gråvand.



Figur 8.2: Sofiebadet scenario #1 "Maksimal". Afløb fra gråvandskilder ledes til tank 1. Fra tank 1 pumpes gråvandet op i DPF-Gråvand-renseenhederne, som vandet passerer, og derfra løber til tank 2. Fra tank 2 pumpes det rensede gråvand ind i gråvandsinstallationerne (koldt og varmt). Diverse sikkerhedskomponenter m.v. i systemet er benævnt og illustreret på figuren. (Se endvidere Figur 13 for foto af DPF-Gråvandsenhed)

Betragtes afledning af gråvand samt produktion og forbrug af rensed gråvand over en uge kan variationen af vand i en tank 1 til opsamling af gråvand og en tank 2 til lagring af rensed gråvand se således ud som vist i Figur 8.4.



Figur 8.3: Variation i vandvolumen i tank 1 (produceret gråvand, sort streg) og tank 2 (rensed gråvand, blå streg) over en uge ved jævnt afløb til kloak, produktion af gråvand og forbrug af rensed gråvand, i et system som illustreret i Figur 3. Tank 1 fyldes dag 1, og pumpning med en ydelse på  $0,3 \text{ m}^3/\text{t}$  til renseenhederne begynder dag 2. Efter der er løbet rensed gråvand i tank 2 kan der, når der f.eks. er  $6,9 \text{ m}^3$  i tanken, begynde at bruges rensed

#### gråvand i badet.

På baggrund af simuleringen i Figur 8.3 vurderes det, at en hensigtsmæssig størrelse af tankene er hhv. 10 m<sup>3</sup> til gråvandstanken (tank 1) og 14 m<sup>3</sup> til tanken med rensat vand (tank 2). Vandforbruget i baderummene varierer dog meget både i åbningstiden og på den enkelte ugedag, hvor søndag er den mest besøgte dag i ugen. I Sofiebadet må der være op til 26 gæster samtidigt i et tidsrum på 2 timer. En badegæsts dimensionsgivende behov for gråvand er sat til 0,2 m<sup>3</sup>/besøg svarende til 0,1 m<sup>3</sup>/t i 2 timer. Ifølge registreringer er der 2-3 perioder om ugen, hvor antallet af besøgende næsten udgør de tilladte 26 gæster samtidigt, og i de tidsrum er vandforbruget altså knap 2,6 m<sup>3</sup>/t.

De 5 renseenheder producerer 0,3 m<sup>3</sup>/t, hvilket svarer til 12 % af det maksimale forbrug på knap 2,6 m<sup>3</sup>/t, idet det her forudsættes at tøjvask og rengøring foregår uden for perioder med 26 gæster samtidigt, og toiletskyllet kan dækkes af de 2,6 m<sup>3</sup>/t. Derfor skal der i tank 2 være et vist lager af rensat gråvand. Hvis der som designgrundlag f.eks. skal være gråvand til 26 personer i 2 sammenhængende perioder svarende til 4 timer, produceres der i det tidsrum 1,2 m<sup>3</sup> rensat gråvand, men der bruges mere end 10 m<sup>3</sup> rensat gråvand i de 4 timer. Der skal derfor ved åbningstid være mindst ca. 9 m<sup>3</sup> i tank 2, hvis ikke badegæsterne i 2 sammenhængende spidsbelastningsperioder skal supplere badningen med drikkevand. Efter 2 perioder med 26 gæster er et lager på 9 m<sup>3</sup> tom, og produktionen af gråvand skal løbende dække vandbehovet resten af dagen. Det varer 30 timer før end der igen er produceret 9 m<sup>3</sup> rensat gråvand til tank 2 og der er lukket 14 timer i døgnet på hverdag. Hvis der er 26 personer i 2 perioder flere dage i træk, skal volumen af det rensede gråvand i tank 2 være endnu større, før badegæsterne begynder at bruge af det rensat gråvand.

Størrelsen af tankene, her især tank 2, afhænger i høj grad af, hvilke forsyningssikkerhed der ønskes, og hvor stor udnyttelse af gråvandspotentialet, der skal opnås.

Hvis de ovennævnte forudsætninger kan indfries i praksis, og der er mindst 30 timer mellem to spidsbelastningssituationer, vil scenarie 1 som illustreret i Figur 3 med tankstørrelser på henholdsvis 10 og 14 m<sup>3</sup> og 5 DPF-Gråvandsenheder kunne sikre fuld genanvendelse af gråvand til alle formål undtagen madlavning, drikkevand, opvaskemaskine og andet. Forbruget af drikkevand kan i den situation reduceres med over 90 %.

Det kan også bemærkes at stort set samme besparelse vil kunne opnås med opsamling af kun vand fra bruserområdet, da denne fraktion er så dominerende.

#### *Overvejelser omkring systemopbygning*

Selvom målet i scenarie 1 er, at så meget af gråvandspotentialet som overhovedet muligt skal recirkuleres (genanvendes) er der en række forhold omkring systemopbygningen (Figur 8.2), der skal tænkes godt igennem.

Der bør etableres overløb til det traditionelle afløbssystem på tank 1 og 2, og der skal installeres niveaufølere i renseenheder og tanke, så driftspersonalet ved høj vandstand kan alarmes og pumper m.v. reguleres herefter. En pumpe med passende ydelse og god evne til at flytte urent/fedt vand, skal benyttes til at løfte vandet fra tank 1 til toppen af renseenhederne, hvor der udover grovfilteret skal etableres et fordelingsarrangement, så enhederne belastes ens. Gråvandet løber via gravitation ud i bunden af enheden. I tank 2 installeres en tilsvarende pumpe som med evt. trykudligning kan forsyne brusere, taphaner til rengøring, varmtvandsbeholder, vaskemaskine og toiletter med det rette tryk. Pumperne i tankene skal være med pumpefod og monteret på glideskinne så de let kan monteres/afmonteres uden at servicepersonale skal helt eller delvist nedgang i tanken.

For at overvåge kvaliteten af det rensede og trykløse vand efter renseenhederne kan der etableres et mindre reservoir, så en delstrøm kan føres gennem en turbiditetsmåler og tilbage til tilløbet til tank 2. Turbiditet er et mål for uklarhed, og en god indikation for renseeffekten og f.eks. hvor effektiv uv-belysningen kan blive. Det er muligvis også nødvendigt at forudsætte at at uv-anlægget, ozonanlægget eller andet desinfektionsanlæg kontinuerligt kan måle på en eller flere kritiske parametre og ved fejlarmer automatisk stoppe forsyningen med gråvand.

Det forventes, at sæberester m.v. over et vist tidsrum aflejres på tankvæg og bund, hvorfor tankene skal kunne spules rene ovenfra, og spulevandet ved rengøring afledes gennem bund-afløbet. Alternativt kan der sættes en 3-vejs-ventil på pumpeafgangen, så spulevand kan pumpes ud af tanken og ledes udenom renseenheden direkte til afløbssystemet. Spulevand kan med fordel tages fra de særlige taphaner med rensed og desinficeret gråvand.

For at overvåge anlægget, herunder hvor meget gråvand der recirkuleres, bør der som minimum installeres en vandmåler (flowmåler) efter desinfektionsanlæg, og det skal kunne måles, hvor meget drikkevand anlægget suppleres med.

#### *Yderligere overvejelser*

I scenarie 1 ses på en maksimal recirkulation af gråvandet, men det må forventes, at der i perioder i åbningstiden, opstår problemer med desinfektionsanlægget, hvilket ikke må medføre, at gæsterne skal forlade Sofiebadet. Endvidere må der forventes et vist svind af gråvand til rengøring af tanke m.v. Derfor skal der være mulighed for at supplere gråvandsforsyningen med drikkevand fra den almene vandforsyning.

Selvom gråvandet desinficeres forventes det, at der vil blive stillet krav fra myndighederne om, at gråvandsinstallationerne og drikkevandsinstallationerne herunder varmt vand skal holdes fysisk adskilt med et luftgab, så risikoen for at trykke desinficeret gråvand ind i drikkevandsinstallationerne og tilbage i de almene forsyningsledninger helt fjernes. Skal gråvandsforsyningen suppleres med drikkevand efter desinfektionsanlægget, hvor der er tryk i installationerne, kan det af gode grunde ikke ske via det nødvendige luftgab. Supplerende forsyning med drikkevand kan således kun ske med parallelle og helt adskilte gråvands- og drikkevandsinstallationer herunder varmtvandsinstallationerne. Badegæsterne skal derfor have adgang til en reservebruser med eget blandingsbatteri osv. De 2 sæt installationer kan udføres af forskellige materialer og mærkes, så risikoen for utilsigtet kortslutning af gråvand- og drikkevandsinstallationer reduceres mest muligt.

Endvidere skal der på drikkevandsinstallationerne installeres kontrollerbare kontraventiler som løbende tilses jf. DS 1717 om forholdsregler til sikring af drikkevand i vandinstallationer samt generelle krav til tilbagestrømsikring. Af hensyn til driften af desinfektionsanlæg og mulighed for at rense gråvandsinstallationerne, kan der føres drikkevand ind i toppen af tank 2, så der til stadighed er et tilstrækkeligt luftgab mellem drikkevandsinstallation og maksimal vandstand i tanken.

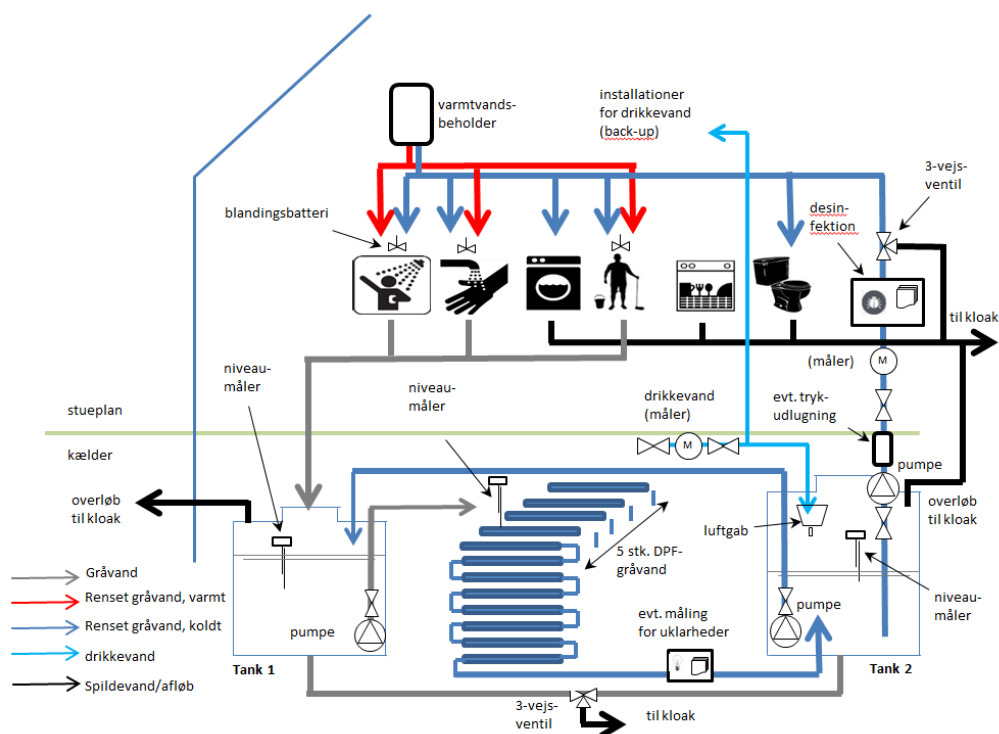
Hverken i scenarie 1 eller de to efterfølgende ses der på indkøring og dannelse af tilstrækkelig lager af gråvand og rensed gråvand ved opstart og genopstart efter rengøring af tanke m.v., eller hvor store tankene skal være udover nyttevolumenerne.

### **8.3 Vurdering af scenarie 2 (recirkulation af op til 6,9 m<sup>3</sup> gråvand)**

Scenarie 2 ligner scenarie 1, men her ses kun på opsamling af gråvand fra badning, rengøring og håndvaske, mens afløbet fra vaskemaskine og opvaskemaskine ledes sammen med afløb fra toiletterne direkte i det eksisterende afløbssystem. I scenarie 2 er behovet for gråvand altså

større end den mængde gråvand, der opsamles i løbet af et døgn (103 %). Scenarie 2 er illustreret i Figur 8.4.

At der skal bruges 0,2 m<sup>3</sup>/d mere rensed gråvand end der produceres gør, at der over en vis periode skal suppleres med drikkevand. Af hensyn til forsyningssikkerheden skal der alligevel etableres 2 parallelle vandinstallationer – én installation til gråvand og 1 installation til drikkevand, så dette er ikke i praksis et problem.



Figur 8.4: Sofiebadet-#2 "Mellem". Som anlæg på figur 3, men her opsamles kun gråvand fra bade, håndvaske og rengøring. Det rensede vand bruges til bade, håndvask, tøjvask og rengøring.

I scenarie 2 forudsættes som udgangspunkt ligeledes 5 renseenheder og en rensekapacitet på 0,3 m<sup>3</sup>/t, som vist i Figur 8.4.

I scenarie 2 ses der på gennemsnitsbetragtninger, så antallet af besøgende i løbet af 1 dag spredes jævnt ud over åbningstiden og det dimensionsgivende specifikke forbrug af gråvand (m<sup>3</sup>/t) reduceres væsentligt i forhold til i scenarie 1.

I scenarie 2 fordeles antallet af besøgende i løbet af 1 måned ligeligt på månedens dage, hvilket her fastsættes til 36 gæster/dag. Da åbningstiden i badet varierer 5-10 t/dag ses der først på en søndag med 5 timers åbningstid, hvor det gennemsnitlige antal besøgende er 8 gæster/t; 8 gæsters dimensionsgivende forbrug af gråvand er 1,6 m<sup>3</sup>/t.

Da den specifikke rensekapacitet svarer til knap 20 % af behovet for rensed gråvand er der i sammenligning med scenarie 1 fortsat behov for et lager af gråvand i tank 2, men størrelsen af tank 2 kan reduceres væsentligt i forhold til scenarie 1.

Med forudsætningerne om, at der over 5 timer bruges 1,3 m<sup>3</sup>/t mere end der produceres, skal tank 2 altså mindst indeholde omkring 6,5 m<sup>3</sup> søndag morgen.

Ses på en hverdag med 4 gæster/t i 10 timer skal der bruges 5 0,5 m<sup>3</sup>/t rensed gråvand mere end der produceres, hvilket gør, at når der åbnes på en hverdag, skal der være mindst 5 m<sup>3</sup> i tank 2.

Renseenhederne skal forsat belastes op til 23 timer uden for åbningstiden, hvor der ikke opsamles gråvand, og tank 1 skal derfor indeholde mindst 7 m<sup>3</sup>, når badet lukker søndag aften.

### Besparelspotentiale

#### 8.4 Vurdering af scenarie 3 (minimal udnyttelse af gråvand)

[illegible]

62 Miljøstyrelsen / Regn- og gråvandscirkulering på bygningsniveau

Der skal være lager af gråvand i tank 1, så renseenheden kan belastes kontinuerligt og ikke tørrer ud. Renseenheden skal belastes op til 23 timer uden for åbningstid. En belastning af renseenheden på godt 0,06 m<sup>3</sup>/l 23 timer svarer til, at renseenheden belastes med knap 1,5 m<sup>3</sup> gråvand. Der skal derfor søndag aften, når Sofiebadet lukker, være mindst 1,5 m<sup>3</sup> gråvand i tank 1. Hvor mange sammenhængende dage Sofiebadet kan være lukket vides ikke, men en lagerkapacitet svarende til 1 døgns belastning af renseenheden (1,5 m<sup>3</sup>) vurderes at være en hensigtsmæssig nyttevolumen af tank 1. Som supplement kan der etableres en pumpe og rørinstallation i tank 2, så der kan ledes rensset gråvand fra tank 2 tilbage til tank 1 og dermed kan renseenheden principielt holdes våd lige så længe Sofiebadet er lukket. En anden mulighed kan være, at tank 1 og tank 2 kan gøres til forbudne kar med en rørforbindelse, som kan åbnes og lukkes f.eks. ved hjælp af en magnetventil. I de mest besøgte tidsrum er tilløbet til tank 1 mere end 2,6 m<sup>3</sup> gråvand/t, så der skal være et velfungerende overløb til den traditionelle spildevandinstallation.

Fordeles det daglige vandforbrug til tøjvask og toiletskyl over f.eks. 5 timer giver det et middelforbrug på 0,3 m<sup>3</sup>/t. Behovet for gråvand vil altså være ca. 0,25 m<sup>3</sup>/t mere end der produceres i renseenheden, og på 5 timer er det i alt 1,25 m<sup>3</sup>. I forhold til de meget store tankvolumener, der er behov for i scenarie 1 og 2, vil en lagertank 2 med et nyttevolumen på 3 m<sup>3</sup> være passende, svarende til 2 dages behov for gråvand til toiletter, vaskemaskine og rengøring. Ligesom i scenarie 1 og 2 skal der være forsynings sikkerhed til toiletter, vaskemaskine og taphaner til rengøringsvand, og forbruget skal kunne dækkes af drikkevand. Hvis det kan accepteres, at rengøringsvandet ikke opvarmes, kan varmtvandsinstallationen på gråvandssiden helt undlades modsat situationen i scenarie 1 og 2.

Det forventes, at selvom gråvand i dette scenarie ikke bruges til den personlige hygiejne vil myndigheden kræve en desinfektion før det bruges i toiletter, i vaskemaskinen eller til rengøring.

#### *Besparelspotentiale*

Med scenarie tre kan ca. 20 % af drikkevandsforbruget erstattes af rensset gråvand, og pladskravene til tanke og rensenhed er forholdsvis beskedne.

## **8.5 Sammenligning og konklusion på scenarier**

I tabel 8.3 er de tre scenarier sammenlignet med hensyn til nødvendigt tankvolumen, antal renseenheder og besparelspotentiale. Med Minimumsscenariet kan gråvand fra badearealet levere alt nødvendigt vand til toiletter, vaskemaskiner og rengøring, og dermed føre til en besparelse på ca. 20 % af drikkevandsforbruget. Der er kun behov for to mindre tanke og et enkelt DPF-Gråvandstårn. I de to øvrige scenarier, der begge involverer forsyning af bruserne i badeområdet, er tankbehovet og behovet for renseenheder så stort at det vil være vanskeligt at finde plads i Sofiebadets egen kælder. Hvis tankene nedgraves udendørs vil der muligvis kunne skabes plads indendørs til de fem DPF-Gråvandstårne. Til gengæld vil besparelsen være massiv, i hvert fald i Maksimalscenariet, hvor omkring 90 % af det aktuelle drikkevandsforbrug kan spares. I Mellemscenariet afhænger den eksakte besparelse af variationen i forbrugsmønstret på daglig basis hos Sofiebadet. Jo mere jævnt fordelt antallet af badegæster er over tid desto større vil besparelspotentialet være, og omvendt. For begge scenarier med forsyning af bruserne vil sandsynligheden for at kunne opnå myndighedstilladelse, som beskrevet i kapitel 9, være begrænset.

Sofiebadets store produktion af lyst gråvand betyder at opsamling af regnafstrømning er mindre interessant. Som beskrevet i bilag 3 har Sofiebadet allerede installeret en regnvandstank på 5 m<sup>3</sup> til forsyning af toiletter med skyllevand, men den løber jævnligt tør og er ikke i stand til



at forsyne toiletterne året rundt. Dette forhold er med til at understrege gråvandets potentiale som stabil vandforsyningskilde.

Tabel 8.3: Sammenligning af krav til infrastruktur ved tre scenarier for recirkulering af gråvand hos Sofiebadet.

Scenarie	Ide	Gråvand-stank	Rentvandstank	DPF-Gråvandstårne	Sparet drikkevand
<b>#1 Mak-simal</b>	Al gråvand recirkuleres. Alle forsyningsformål undtagen drikkevand. Kan klare spidsbelastning (26 gæster)	10 m <sup>3</sup>	14 m <sup>3</sup>	5 tårne	90 %
<b>#2 Mel-lem</b>	Kun lyst gråvand recirkuleres. Alle forsyningsformål undtagen drikkevand. Kan kun klare gennemsnitsbelastning.	7 m <sup>3</sup>	7 m <sup>3</sup>	5 tårne	50-75%
<b>#3 Mini-mal</b>	Kun lyst gråvand recirkuleres. Kun forsyning af toiletter, vaskemaskiner og rengøringshane.	1,5 m <sup>3</sup>	3 m <sup>3</sup>	1 tårn	20 %
<b>#3 Mini-mal</b> (Fig. 8.5)	Bade, håndvaske og rengøring.  Produktionen udgør: 6,7 m <sup>3</sup> /d	Rengøring, tøjvask og toiletskyl  Forbruget udgør: 1,44 m <sup>3</sup> /d	Recirkulering kun til mindre og knap så sensitive forbrugsformål	<b>#3 Minimal</b> (Fig. 8.5)	Bade, håndvaske og rengøring.  Produktionen udgør: 6,7 m <sup>3</sup> /d

## 9. Myndighedsaspekter

Som nævnt i kapitel 4 er det tilladt at anvende regnafstrømning fra tage til forsyning af toiletter og vaskemaskiner, når Rørcenteranvisning 003 følges. Af anvisningen fremgår at der er en række offentligt tilgængelige institutioner, hvor brug af regnvand til toiletskyl ikke er tilladt. For alle andre typer sekundavand og alle øvrige forsyningsformål skal der indhentes særskilt tilladelse hos den kommunale myndighed, og det er nødvendigt at indhente bemyndigelse fra Miljø- og Fødevareministeriet til at give dispensation fra Drikkevandsbekendtgørelsens § 3. Bekymringerne omkring anvendelse af sekundavand knytter sig til to forhold. For det første er der en risiko for at sekundavandssystemet hvad enten det er baseret på regnafstrømning, gråvand eller en kombination heraf kan forurene det primære forsyningssystem, dvs. drikkevandssystemet. Denne risiko er aktuel hvor drikkevandssystemet er tilkoblet som back-up system i tilfælde af at sekundavandssystemet løber tør. Som nævnt i kapitel 8, afsnit 8.2, skal DS1717 følges for at minimere denne risiko. Dette aspekt berøres ikke yderligere. Den anden bekymring knytter sig til sundhedsrisici forbundet med brugen af sekundavand. Her tages både kvaliteten af vandet og den tiltænkte forsyningssituation, dvs. brugen af vandet, i betragtning.

Med udgangspunkt i danske eksempler ekstraheres væsentlige aspekter omkring vandkvalitetsrisici forbundet med recirkulering af gråvand på bygningsniveau. På baggrund heraf, samt input fra embedslægeinstitutionen og resultaterne opnået med DPF-Gråvand og infrastrukturovervejelserne i henholdsvis kapitel 7 og 8 skitseres en ansøgning om genbrug af gråvand hos Sofiebadet (vedlagt som bilag).

### 9.1 Danske eksempler på genbrug af gråvand og de tilhørende myndighedsaspekter

Der er en del eksempler på danske gråvandsanlæg, primært opført i 90'erne og starten af 00'erne, men deres status er ukendt. I rapporten "Identifikation af gråvandsanlæg" (Miljøstyrelsen, 2001) oplistes 33 anlæg, hvor af en del er enten nedlagt eller kun under forberedelse. I det følgende beskrives nogle eksempler på gråvandsanlæg, som det har været muligt at finde myndighedsrelevant materiale om. Der startes med et nyere eksempel.

#### 9.1.1 Fra brusevand til brusevand, RF 2015

**Om anlægget.** I regi af temaet "Rio til Roskilde" fik Copenhagen Business School af Roskilde Kommune tilladelse til i samarbejde med Grundfos og Roskilde Festivalen at opstille to brusevogne på festivalen i 2015 med henblik på at undersøge brugernes holdninger til brug af renset gråvand. Der blev således opstillet to brusevogne ved siden af hinanden, tydeligt skiltet med at man i den ene tager bad i "grundvand" og i den anden i "genbrugsvand", hvor ideen var at recirkulere brusevandet fra gråvandsvognen over et renseanlæg leveret af Grundfos, opstillet i en container. I indkøringsfasen lykkedes det dog ikke at overholde vilkårene i tilladelsen for ibrugtagning af anlægget, hvorfor forsøget ikke kunne gennemføres og begge brusevogne derfor kørte på vandværksvand. I det følgende resumeres vilkårene i tilladelsen fra Roskilde Kommune (vedhæftet som bilag), samt en evalueringsrapport vi har modtaget fra Roskilde Festivalen vedrørende renseteknologien (Thorup, 2015).

**Myndighedstilladelse.** Roskilde Kommune gav tilladelsen efter Vandforsyningsloven, § 21 stk. 1. Tilladelsen gælder perioden 15. juni til 5. juli 2015. Tilladelsen stiller krav om at anlægget er

bemandet døgnet rundt, tilsluttes en online bakterie-monitoring, og at der udtages prøver før og efter anlægget mindst en gang i døgnet. Før anlægget må tages i brug skal to på hinanden følgende prøver af rensed vand være rene, defineret som udvidet kontrol ved "afgang vandværk". Prøverne skal desuden analyseres for sæberester, men der anførtes dog ikke en grænseværdi. Anlægget skal øjeblikkeligt stoppes ved overskridelse af grænseværdier, og Roskilde Kommune skal have besked. Der skal desuden føres logbog over driften i øvrigt. Det er i tilladelsen specificeret at prøverne før og efter rensning skal analyseres for kimtal 22°C, kimtal 37°C, coliforme bakterier og E. coli. Prøven af det rensede vand skal udtages før opblanding med vandværksvand, og før evt. opvarmning. Af tilladelsen fremgår at Embedslægen ikke have bemærkninger til tilladelsen.

De specifikke krav er ikke nævnt i tilladelsen, men af Drikkevandsbekendtgørelsen, BEK nr. 802 af 01.06.2016 (der stiller samme krav vedr. mikrobiologiske parametre som 2014 versionen af bekendtgørelsen) fremgår kravene resumeret i Tabel 9.1

Tabel 9.1: Kvalitetskrav til mikrobiologiske parametre, iflg. Drikkevandsbekendtgørelsen

Parameter	Enhed	Vandkvalitetskrav		
		Værdi ved afgang fra vandværk <sup>1)</sup>	Værdi ved indgang til ejendom <sup>2)</sup>	Værdi ved forbrugrens taphane <sup>6)</sup>
Coliforme bakterier	Pr. 100 ml	i.m. <sup>3)</sup>	i.m. <sup>3)</sup>	i.m. <sup>3)</sup>
Escherichia coli (E. coli)	Pr. 100 ml	i.m. <sup>3)</sup>	i.m. <sup>3)</sup>	i.m. <sup>3)</sup>
Kimtal ved 37 °C	Pr. ml	5	20	20
Kimtal ved 22 °C	Pr. ml	50 10 <sup>4)</sup>	200	200
Enterokokker	Pr. 100 ml	i.m. <sup>3)</sup>	i.m. <sup>3)</sup>	i.m. <sup>3)</sup>
Clostridium perfringens, herunder sporer <sup>5)</sup>	Pr. 50 ml	i.m. <sup>3)</sup>	i.m. <sup>3)</sup>	i.m. <sup>3)</sup>

1) Prøven udtages fra afgangsledning eller rentvandsbeholder på vandværket

2) Prøven udtages ved indgangen til bygning (ved vandmåler eller nærmeste taphane herefter), når vandet har løbet så længe, at det vand, der står i installationer og stikledning, er udskyllet, og vandet har løbet i mindst 5 minutter.

3) i.m. = ikke målelig ved den anviste metode

4) Værdien gælder for desinficeret vand.

5) Parametere bestemmes kun, hvis vandet hidrører fra eller påvirkes af overfladevand

6) Prøven udtages ved taphanen, når vandet har løbet i højst 30 sekunder

**Om teknologien.** Ifølge tilladelsen fra Roskilde Kommune baseres renseteknologien på omvendt osmose og UV, og den benyttede renseteknologi betegnes Ultraqua MonoRay. I tilladelsen beskrives anlægget således: "Anlægget består indledningsvis af filtre af forskellige størrelser, som skal filtrere uønskede materialer fra (fx plastre, jord, sand) badevandet, således at den efterfølgende RO-membran ikke stopper til. Herefter ledes badevandet gennem en RO-membran, som har til formål at fjerne bakterier, vira samt miljøfremmede stoffer i vandet (fx sæbe). Da RO-membranen også fjerner alle mineraler i vandet, vil det rensede badevand blive tilsat grundvand i et forhold på minimum 1:3. Efter sammenblandingen, ledes vandet igennem et UV-anlæg, som er en ekstra sikring for at undgå opblomstring af bakterier. Herefter forventes det rensede badevand på ny at være af drikkevandskvalitet, som kan anvendes i en anden brusevogn på festivalen. Der renses ca. 500 liter vand i timen. Hele anlægget er tilkoblet en bakteriecelle, som hvert 15. minut overvåger vandets bakterieindhold".

**Evalueringsrapport.** Af evalueringsrapporten fremgår at anlægget ikke kunne overholde kintalskravene. Dette er illustreret i Figur 9.1. Det bemærkes at grænseværdien her er sat ved 200 kim pr. ml, hvilket svarer til Drikkevandsbekendtgørelsen grænseværdi for kimtal 22 °C ved indgang til ejendom (og ikke afgang fra vandværk, som krævet i tilladelsen). Til trods for høj dosis af UV

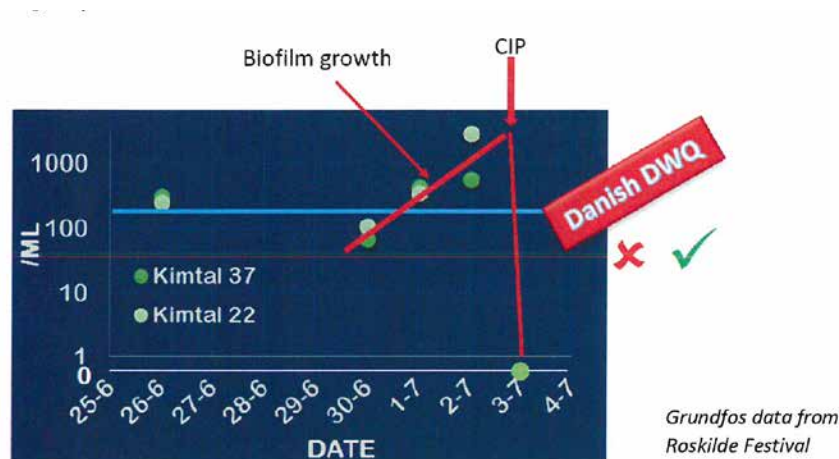
var det ikke muligt at opnå lave kimtal. Et forsøg med anvendelse af CIP, der er et desinfektionsmiddel baseret på pereddikesyre, reducerede effektivt bakterievæksten. Vedrørende sæberester findes ingen data, men det oplyses at omvendt osmose effektivt tilbageholder sæber og olier. On-line bakterietælleren, som Roskilde Kommune nævner i deres tilladelse, omtales ikke i evalueringsrapporten.

Forklaringen på bakterievæksten er ifølge rapporten at RO-anlæg kan tilbageholde salte og makromolekyler, men ikke små molekyler som urea/ammonium, der slipper igennem membranen i nærmest uændret koncentration. Kvælstoffet heri kan efterfølgende forårsage bakterievækst på permeatsiden af RO-membranen (den rene side).

Det konkluderes i øvrigt at det var en udfordring at håndtere sæber og olier i RO-anlægget.

Desuden efterlyser man i evalueringsrapporten at lovgivningen afklares. Man mener at det testede anlæg burde håndteres efter lovgivning om svømmebade, hvilket vurderes at ville være en fordel for videre udvikling. Ved opslag i Naturstyrelsens "Vejledning til kontrol med svømmebade" fra 2013 ses at kimtal ved 37 °C i bassin vandet højst må være 500 kim pr. 100 ml, dvs. 5 kim pr. ml.

Det skal bemærkes at det ikke er muligt at sammenligne kimtal i Figur 9.1 med kimtal fra DPF-Gråvandsforsøgene hos Sofiebadet (Figur 7.38 – 7.41), da effluent herfra ikke har været underkastet nogen form for desinfektion.



Figur 9.1: Målinger af kimtal i vand efter rensning i Ultraqua MonoRay. Grænseværdien, der skulle overholdes er sat ved 200 kim pr. ml. CIP markerer et forsøg med tilsætning af desinfektionsmiddel. Kopieret fra Thorup, 2015.

**Konklusion:** Roskilde Kommune har givet tilladelsen efter Vandforsyningsloven og her lagt vægt på mikrobiologiske parametre, samt på overvågning. Hvorvidt kravet var 50 eller 200 kim pr. ml ved 22 °C er der usikkerhed om, idet Kommenen skriver "afgang vandværk" (50 kim pr. ml), mens evalueringsrapporten refererer til en grænseværdi svarende til "indgang ejendom" (200 kim pr. ml). Problemet med bakterievækst på rentvandssiden på grund af N-forbindelser bemærkes. On-line bakteriemåleren kan være interessant.

### 9.1.2 Recirkulering af vand fra vaskemaskiner, 3B Folehaven (lukket)

**Om anlægget.** I Boligforeningen 3B Folehaven, med 940 lejligheder, ombyggede man i perioden 4. april til 5. august 2000 fællesvaskeriet beliggende Vinhaven 2, 2500 Valby, sådan at gråvand fra vaskemaskinerne blev sendt til et biologisk renseanlæg installeret i tanke i kælderen, og efter rensning brugt som forsyningsvand til de 24 vaskemaskiner med et dagligt vandforbrug på ca. 20 m<sup>3</sup>. Et regnvandsanlæg sikrede spædevand, ligesom der også var et nød anlæg til efterfyldning med vandværksvand. Teknisk bestod anlægget af en 90 m<sup>3</sup> septiktank til

modtagelse af spildevand fra vaskemaskiner, og bundfældning, med opholdstid ca. 3 døgn, og tilsætning af bundfældningsmiddel, gasser udluftes mekanisk; herfra løb vandet gennem 8 serielt forbundne behandlingstanke på i alt 32 m<sup>3</sup> fyldt med mineralet zeolit podet med mikroorganismer og i vandoverfladen flåder med planter, opholdstid i alt ca. 1,5 døgn, tiltænkt som aerob proces; herfra løb vandet til et 8,5 m<sup>3</sup> behandlingakvarium med mineralsk/biologisk filter, og fisk der fodres med fiskefoder og hvis affaldsstoffer sikrer alsidig ernæring til bio-filter og fungerer som indikator på god vandkvalitet samt dekoration, opholdstid ca. 12 timer; herfra løb vandet til et såkaldt marskområde på 30 m<sup>3</sup> hvor første halvdel fungerer som akvariet mens anden del er fyldt med zeolit med grønne planter direkte oven på, opholdstid ca. 1,5 døgn; herfra løb vandet til rentvandstank på 23 m<sup>3</sup> og opholdstid på ca. 1 døgn, efterfulgt af sandfilter og UV-filter; påfyldning af spædevand foregik til rentvandstanken. Derudover indgik "kalkspalter" og diverse Grander-udstyr. Det samlede volumen i anlægget var 183,5 m<sup>3</sup>. Fotos fra anlægget er vist i Figur 9.2.

Som nævnt opstod der efter en årrække lugtgener, hvorefter anlægget blev lukket og ideen om recirkulering droppet. Tidspunktet for indstilling af recirkulering kendes ikke, men det er senest sket i 2009, hvor man ansøger Københavns Kommune om tilladelse til installation er et stort regnvandsanlæg, der fortsat i brug og som kører uden recirkulering. Det kan dog ikke sikre det fulde vandbehov. Ifølge Boligforeningens ejendomsinspekter, Peter Kaare, som er kontaktet i regi af nærværende projekt, fungerede gråvandsanlægget upåklageligt og uden klager fra beboerne, indtil lugtgenerne opstod. Der var ingen særlige restriktioner omkring brugen af vaskemaskinerne. Papirerne hørende til gråvandsanlægget blev smidt ud i forbindelse med kontorflytning. Det er dog lykkedes at finde relevante dokumenter i Københavns Kommunes byggesagsarkiv.

**Myndighedstilladelse.** Her er det lidt sløret. Det har ikke været muligt at finde en aftale om et myndighedsgodkendt prøvetagningsprogram, til trods for at dette efterlyses i flere skrivelser fra myndighederne til aktørerne bag anlægget. By- og Boligministeriet giver i juli 1999 tilladelse til selve installationen af vaskemaskiner til genbrug af rensset vaskevand med mulighed for opspædning med regn- og drikkevand, hvis bygningsreglement og norm for vandinstallationer følges, men skriver så: "Det er en forudsætning, at det skitserede rensningsanlæg fungerer som beskrevet igennem anlæggets hele driftstid og renser vaskevandet, så de mikrobiologiske kvalitetskrav i Miljøstyrelsens Drikkevandsbekendtgørelse overholdes". Fra Københavns Vand foreligger et svar fra juli 1999 til Bygge- og Teknikforvaltningen om projektet, hvor man skriver at man kan støtte iværksættelsen af konceptet, fordi vaskeriet vil blive meget ressourcebesparende, men understreger at: "Københavns Vand kan ikke tage stilling til, om den producerede vandkvalitet og om andre hygiejniske forhold i vaskeriet vil kunne give problemer for beboerne. Henvendelse herop bedes rettet til Miljøkontrollen og Stadslægen.". Miljøkontrollen i Københavns Kommune bliver i oktober 1999 af aktørerne bag anlægget anmodet om at udtale sig vedrørende kvalitetskrav til det recirkulerede vaske- og skyllevand, og svarer i november 1999: "Af skrivelsen forstås at det rensede vaske- og skyllevand skal kunne overholde Miljøstyrelsens mikrobiologiske kvalitetskrav til drikkevand. Såfremt det er målet at disse krav skal kunne overholdes ser Miljøkontrollen intet til hinder for den videre projektering. Det forudsættes dog, at der udarbejdes et prøvetagningsprogram, der forelægges de relevante myndigheder til godkendelse". Men en sådan aftale synes som sagt aldrig at være indgået.

**Evalueringsrapport.** Ca. et år efter anlæggets ibrugtagning er der lavet en opsamling på erfaringerne. Fra december 2001 foreligger således en evalueringsrapport udarbejdet af Lading arkitekter + konsulenter PAR, rekvireret af 3B og finansieret af Den Grønne Fond og Københavns Kommunes Byøkologiske Fond. Rapporten fokuserede på om anlægget fungerer tilfredsstillende, brugernes tilfredshed, proces omkring projektering og opfølgning, miljømæssige effekter, og anlæggets økonomi. DHI udførte målinger af vand- og slamkvalitet, mens den øvrige evaluering var baseret på foreliggende vandanalyser og forbrugsmålinger, samt interviews med driftspersonale og brugere. Rapportens resultater resumeres for udvalgte temaer nedenfor. Efterfølgende

de uddybes data for mikrobiologisk vandkvalitet.

- Anlæggets funktionalitet.

Om vaske-kvaliteten. Her mener næsten halvdelen af de adspurgte brugere at det nyvaske-de tøj lugter grimt, og kun 20 % mener det lugter rent. Rapporten påpeger at datagrundlaget er svagt, men anfører at dårlig kvalitet skyllevandet, pga. højt saltindhold, kan være en for-klaring. Vandkvalitet i forhold til vaskeprocessen. I løbet af det første driftsår blev der gen-nemført forskellige anlægsmæssige tiltag for at regulere vandkvaliteten: For høje kimtal → øget opholdstid i sandfilter og UV-belysning fra oktober 2001; uklart vand → Grander udstyr; for hårdt vand → Grander udstyr; utilstrækkelig bundfældning → brug af bundfældningsmid-let PAX XL 60; for høj pH-værdi → regulering med bundfældningsmidlet PAX XL 60, samt Grander udstyr; for høj saltkoncentration → øget regnvandsopsamling og spædning. Rap-porten konkluderer at efter reduktion i UV-gennemløbshastighed er kimtal. Vandet er ifølge EBO Consult, der har stået for anlægget, blevet klarere og blødere efter opsætning af Gran-derudstyr, men dette savner evalueringsrapportørerne belæg for. Tilsætning af bundfæld-ningsmidlet har sikret tilfredsstillende bundfældning, men pH er ikke reguleret ind; bund-fældningsmidlet antages at være årsag til forhøjet tungmetalindhold i slammet. Saltkoncen-trationen er stadig høj; dog forventes planlagt øget regnvandstilsætning at reducere saltind-holdet. Ophobningen af salte, især sulfat og klorid (se Tabel 9.2), vurderes af DHI at gøre vandet uegnet som skyllevand, der helst skal have en værdi < 50 µS/cm. Målinger af van-dets hårdhed er usikre, men det er sandsynliggjort at hårdheden er lavere end vandværks-vand. Det kritiseres i rapporten at man ikke har forudset behovet for bortskaffelse af slam, der produceredes med omkring 120 L pr. døgn med et tørstofindhold på ca. 1,5 kg. Et så højt indhold af tungmetaller i slammet at det er uegnet til spredning på landbrugsjord tilskri-ves brugen af bundfældningsmidlet. (Af byggesagsarkivet fremgår at man i 2002 fik tilladel-se til at bortskaffe slam til kloak). Oprindeligt skulle vandet perkolere gennem zeolitten men denne ydede mere modstand mod strømning end forventet, og i stedet blev vandet ledt henover, og i de første behandlingstanke ligger slammet i et lag oven på; dette problemer blevet mindre med bedre bundfældning i septiktank. Plan-teflådernes, behandlingsakvariets og marskens funktion er der ingen vurdering af.

- Miljø.

Samlede effekt på energiforbruget er ikke tydeligt beskrevet – et sted nævnes en betydelig stigning, et andet sted et fald, datagrundlaget er svagt. Selvom der bruges mindre energi til opvarmning af vandet, der nu er ca. 20 °C pga. recirkulering, bruger det grønne renseanlæg el til pumper, kompressorer, plantelamper, UV og ventilation.

Det årlige forbrug af vandværksvand er reduceret fra ca. 10.000 m<sup>3</sup> til ca. 2000 m<sup>3</sup>. Bespa-relsen fordeler sig med 657 m<sup>3</sup> pga. færre maskinstarter, 5.597 m<sup>3</sup> pga. nye vandbesparen-de maskiner og 1.736 m<sup>3</sup> pga. grønt renseanlæg. Forbruget af vandværksvand forventedes af EBO Consult at kunne reduceres til 0 fordi flowet efter indkøring nu var stabilt omkring 560 L/t og regnvandsopsamlingen øget. Vandkvaliteten efter UV-behandling er fin med lave kimtal, og UV vurderes at være en god metode. Det bemærkes at kimtal i behandlingsakva-rier er høje, og at dette kan være et problem fordi børn kan stikke hænderne ned i akvarie-vandet.

Lugt har især i starten været et problem, og brugere oplever stadig ubehagelig lugt i vaske-riet. Lugten tilskrives primært septiktanken.

- Økonomi og totaløkonomi.

Der er opnået besparelser takket være modernisering af vaskeriet og takket være det grøn-ne renseanlæg. Det ser ud til at der spares 231.710 kr/år på vandregningen og 14.698 på energiregningen, men hvor hovedparten tilskrives moderniseringen.

Arbejdsbyrden var stor i starten, men ligger nu stabilt på omkring 5 t/uge. Akvarierne kræver derudover 10 timers pasning ugentligt, der dog varetages af beboere. Større arbejdsbyrder

ved håndtering af slam, evt. spuling af zeolitten, evt. udskiftning af vand m.v. forventes. Udgifter til håndtering af slam skal påregnes.

DHI har i 2001 udtaget stikprøver af rensed vand fra en taphane efter UV-anlægget. I Tabel 9.2 er resultatet gengivet, og sammenholdt med krav til drikkevand. Konklusionerne er gennemgået i det forrige. DHI-rapporten indeholder også en større analyse af slamprøver samt overvejelser omkring bortskaffelse, og en vurdering af vandet som vaskevand. I forhold til vurdering af vandet som vaskevand præsenterer DHI nogle erfaringstal fra forskellige projekter om vandgenbrug i industrivaskeprocesser. Vaskevandets kvalitetskrav: Jern < 150 µg/L, ingen farve, turbiditet < 10 NTU, BOD < 50 mg/L, og total kimtal < 10.000 pr. ml. Skyllevandets vandkvalitet: elektrisk ledningsevne (EC) < 50 mS/m, enterokokker < 10 pr. ml, og total kimtal < 1000 pr. ml. DHI peger især på saltindholdet som kritisk.

Tabel 9.2: Analyser af rent vand efter UV-behandling udtaget to forskellige dage. Desuden krav til drikkevand (hvor de findes). Efter DHI-rapportbilag til Lading arkitekters + PAR evalueringsrapport. u.d. = under detektionsgrænsen. i.m. = ikke målelig.

Parameter	Enhed	Prøve fra		Krav til drikkevand	
		30.08	06.09	Vejledende	Højst tilladelig
Suspenderet stof, SS	mg/L	<5	<5		
Glødetab af SS	mg/L	<5	<5		
Tot-N	mg/L	3,8	4,5	5,6 <sup>1)</sup>	11,3 <sup>1)</sup>
Tot-P	mg/L	2,1	0,8	u.d	u.d
COD	mg/L	<30	<30		
BOD	mg/L	<2	<2		
Sulfat	mg/L	259	268	50	250
pH		8,8	8,8	7,0 – 8,0	8,5
Iltmætning	%	95	96		
Temperatur	°C	25,2	27,9		
EC (ledningsevne)	mS/m	307	330	>30 <sup>2)</sup>	
Turbiditet	NTU	0,23	0,36	0,3	0,5
Total hårdhed	°dH	12,1	12,0	5-30	
Klorid	mg/L	289	225	50	300
Tørstof/inddampn.rest	mg/L	1.950	2.150		1.500
Glødetab	mg/L	210	190		
Anioniske detergenter	mg/L <sup>3)</sup>	0,06	0,07	u.d.	0,1
NVOC	mg/L	7,1	8,0		
		Blandprøve fra 30.08 og 06.09			
LAS	µg/L	<5			
NPE	µg/L	<5			
PAH	µg/L	1,1			0,2 <sup>4)</sup>
DEHP	µg/L	<1			
Kviksølv	µg/L	<0,2		u.d.	1
Bly	µg/L	<1		u.d.	50
Cadmium	µg/L	<0,2		u.d.	5
Nikkel	µg/L	9			50
Krom	µg/L	<1		u.d.	50
Kobber	µg/L	17		u.d.	3.000
Zink	µg/L	18			5.000
Jern	µg/L	<10		u.d.	200
		30.08	06.09		
Kimtal 21 °C	pr. ml	<1	2	5	20
Kimtal 37 °C	pr. ml	1	<1	50	200
Coliforme	pr. 100 ml	<1	<1	i.m.	i.m.
Enterokokker	pr. 100 ml	<1	<1	i.m.	i.m.

1) Kravværdier for Nitrat 25 mg/L og 50 mg/L omregnet til Nitrat-N og ikke Total-N

2) Varierer mellem 30 og 130 mS/m i grundvand, jf. Vejledning om kvalitetskrav/stoffer i drikkevand

3) mg Natriumlaurylsulfat

4) Kravet gælder summen af referencestofferne flouranthen, benzo(b,k)flouranthen, benzo(a)pyren, benzo(ghi)perylene og indenol(1,2,3-cd)pyren, som er analyseret til <0,1 og dermed under kravværdien.

**Opfølgning på evaluering.** I byggesagsarkivet lå også en kopi af en handlingsplan, "Handlingsplan for Folehavens vaskeri 2002", med følgende tekst: "Med baggrund i Lading arkitekter + PAR's evalueringsrapport foreslås her en handlingsplan med fokus på vaskerikvalitet og beboernes tilfredshed. Handlingsplanen er udarbejdet af Drift- og Energiafdelingen i 3B i sam-



arbejde med EBO Consult. Handlingsplanen opdateres løbende. Sidst redigeret 13. maj 2002.", og efterfulgt af en tabelopstillet handlingsplanen. Denne handlingsplan er det seneste dokument udover nævnte tilladelse til at sende slam til kloakken fra 2002. Af handlingsplanen kan følgende fremhæves: det høje saltindhold tænkes reduceret ved øget tilførsel af regn- og vandværksvand, og evt. substitution af fædningsmiddel med færre salte; for at opstille massebalance for anlægget skal der opsættes flere vandmålere; hårdhed tænkes reduceret ved øget tilsætning af regnvand; omkring pH-regulering har man ingen løsning; for at undersøge om bakterier kan spredes via aerosoler fra renseanlægget i kælderen tænker man at opsætte petriskåle i vaskeriet med måling over tre dage sommer og vinter og hvis der viser sig et problem vil man øge udsugningen, og forsøge at holde vandet nedkølet ved at blande med regnvand om vinteren; slam ønskes håndtering ved bortledning til kloak; manglende virkning af Granderudstyr undersøges ved i en periode at nedtage udstyret og derefter holde øje med om renseprocessen forværres; indhold af LAS i slammet tænker man kan skyldes brugerne og en gruppe til undersøgelse af vaskeadfærd nedsættes.

**Konklusion.** Det konkluderes at der ikke har været en dialog med myndighederne om prøvetagningsprogram, og det vurderes at anlægget har været i brug uden en myndighedstilladelse. Det konstateres dog også at de to vandprøver af rensed vand, der er analyseret for mikrobiologiske kvalitetsparametre har levet fuldt op til kravene i Drikkevandsbekendtgørelsen. Kvaliteten af vandet som forsyningsvand til vaskemaskiner er kritisk pga. højt saltindhold. Indkøringsperioden har været kritisk, og nogle af de opståede problemer burde have været forudset, eksempelvis at bundfældningen i septiktanken ikke ville kunne foregå tilfredsstillende med mindre der blev tilsat fældningskemikalie, samt at vandflow gennem zeolitten hurtigt ville føre til tilstopning. Eksposeringen af brugere af vaskeriet til en del af behandlingsanlægget, nemlig det store behandlingsakvarium virker også kritisabelt.

### 9.1.3 Fra lyst gråvand til toiletskyllevand, Nordhavsgården 2002 - 2013

**Om anlægget.** Gråvand fra håndvask og brusere fra 84 lejligheder i Nordhavsgården, København, der er en seks-etagers ejendom med i alt 296 lejligheder, blev i en årrække fra 2001 til omkring 2013 opsamlet i et gråvandsanlæg i ejendommens kælder, og efter rensning benyttet til toiletskyl. Anlægget blev etableret som del af et offentligt støttet forskningsprogram, "Aktionsplanen til fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning".

**Myndighedstilladelse.** Anlægget har aldrig fået en permanent godkendelse. Man har indhentet udtalelse fra Embedslægen, men der synes ikke at foreligge en egentlig ansøgning om tilladelse.

**Evalueringsrapport.** Efter tre års drift blev der i 2004 udarbejdet en evalueringsrapport, "Etablering og drift af anlæg til opsamling, rensning og genanvendelse af gråvand til toiletskyl og maskinvask af tøj" (Miljøstyrelsen, 2004). Det bemærkes at ideen med brug af rensed gråvand til tøjvask ikke blev realiseret.

Renseanlægget bestod af: opsamlings- og sedimentationstanke, biologisk rensning i RBC-anlæg, sekundære sedimentering og efterklaring i sandfilter, UV-behandling. Se yderligere i afsnit 11.1. Prøver af indløbsvand til RBC betegnes A2, prøver af vand efter RBC-behandling betegnes A3, prøver af vand efter sedimentering og sandfilter betegnes A5, prøver af vand efter UV-behandling betegnes A6 og prøver af vand i tanke til opbevaring af rent vand betegnes A7. Anlægget er nærmere beskrevet i afsnit 11.1.

Monitering af vandkvalitet blev baseret på en screening, hvorunder relevante parametre for videre monitering blev udpeget. Denne to-trins-tilgang er i overensstemmelse med anbefalingerne i et samtidig projekt: "Udvikling af metode til karakterisering af gråt spildevand" (udgivet i endelig version: Miljøstyrelsen, 2006).

- Risiko for sammenblanding af vandværksvand med gråvand.

Denne risiko var udelukket idet der ikke var nogen direkte forbindelse mellem de to systemer. Det beskrives således: "Spædevand fra eksisterende brugsvandssystem er forsynet med tilbageløbssikring (kontra- og vakuumventil) i varmecentral. Drikkevandsefterfyldning er monteret i henhold til forskrifter i Rørcenteranvisning 003 med et minimum luftgab på 20 mm".

- Teoretisk vurdering af sundhedsrisici.

Ifølge projektpartnerne bag evalueringsrapporten er der begrænset viden om sundhedsrisici forbundet med brug af rensat gråvand til toiletskyl. Man kan forestille sig risici forbundet med mikroorganismer og kemikalier. Overførsel til mennesker kan ske oralt, ved hudkontakt og ved indånding. Oralt indtag og hudkontakt kan være aktuelt for børn, og for voksne ved rengøring af toiletter. Beboere kan eksponeres for "fremmede mikroorganismer" fra naboer, hvilket normalt giver en større risiko, end hvis man kun udsættes for egen husholdnings "kendte mikroorganismer". Ved vurdering af risiko for at børn drikker vand fra kummen bemærkes at det er usikkert om risikoen er større end eksponering til normalt fækalforurenet vand i toilet-kumme. Den infektive dosis varierer betydeligt mellem de forskellige sygdomsfremkaldende bakterier, vira og parasitter. For bakterier er den typisk høj ( $10^5 - 10^7$ ), mens få vira og parasitter kan forårsage sygdom. Sygdomsfremkaldende mikroorganismer, som kan give hudproblemer, inkluderer ifølge rapporten en række vira og bakterier som *Mycobacterium* spp. og *Pseudomonas aeruginosa*. Personer vil normalt have en ringe hudkontakt med cisterne- og toilet-kummevand og sundhedsrisici kan tilsvarende betragtes som lave. Omkring indånding af aerosoler beskriver rapporten at det især er i forbindelse med brusning, og her *Legionella*-bakterier, man har fokus på. Viden om toiletskyl og indånding af aerosoler er begrænset. Efter embedslægens påpegning af mulig risici for indånding af bakterielle endotoksiner, som ofte er cellebestanddele, indhentede man en udtalelse fra Overlæge Ole Bent Jeppesen, afdelingschef i Centralafdelingen for Sygehushygiejne ved Statens Seruminstitut. Det blev her vurderet, at luftbåren overførsel af endotoksiner ved toiletskyl ikke vil udgøre en egentlig sundhedsrisiko for mennesker. Denne vurdering blev baseret på afdelingens erfaringer fra sygehusområdet, hvor man i forbindelse med vurdering og undersøgelser af hygiejne og risici relateret til toiletter ikke hidtil har registreret problemer med aerosolbårne endotoksiner og/eller luftbåren overførsel af egentlige smitstoffer.

- Udtalelse fra embedslæge.

Som nævnt indhentede Københavns Kommunes byggesagsafdeling i 2001 en udtalelse fra embedslægen om eventuelle krav til vandkvaliteten af gråt genbrugsvand, særligt vedrørende luftens indhold af endotoksiner i wc-rummene, foranstaltninger til begrænsning af spredning af vira og bakterier med aerosoler i forbindelse med toiletskyllingen, krav til wc-rummenes ventilation udover hvad der er hjemlet i bygningsreglementet samt bemærkninger i øvrigt til projektet. Embedslægen svarer: "Vand fra badeværelsets håndvask/bad/bruser vil kunne indeholde hår, hudrester, sæbe, tandpasta og mikroorganismer som bakterier, virus og parasitter. Har en syg person eller smittebærer benyttet vandet, vil det kunne indeholde sygdomsfremkaldende mikroorganismer, og der vil være en teoretisk mulighed for, at smitstoffet passerer gennem anlægget. Det vil først og fremmest dreje sig om mikroorganismer der giver mave/tarmsygdomme, men også legionellabakterier, der vokser i varmt vand, kan forurene systemet. Risikoen for smitstoffer øges ved fejlagtig brug, f.eks. hvis snavsede bleer skylles i håndvasken, eller hvis der udhældes kemikalier, som kan skade anlæggets rensningseffekt. Igen-nem anlægget går mange bakterier til grunde, og fra visse bakteriers cellevæg vil der herved frigøres giftstoffer, såkaldte endotoksiner, der kan give feber, hovedpine, kvalme, diarré, træth-ed og muskelsmerter. Ved toiletskyl dannes en aerosol, hvorved blandt andet endotoksiner vil kunne spredes til luften og indåndes. Målinger af endotoksiner i toiletvand tyder dog på, at indholdet i luften vil være lavt sammenlignet med Arbejdstilsynets grænseværdi. Ved aerosol-dannelsen vil også legionellabakterier kunne spredes til luften og efter indånding give anled-ning til lungebetændelse. Da det ikke drejer sig om varmt vand vil legionellabakterier dog ikke opformerer i anlæggene, således at problemet må anses for lille. Ved toiletskyl vil sprøjt og

aerosoler endvidere kunne afsættes på toilettets overflade og andre overflader i badeværelset. Da sprøjt af aerosoler vil kunne indeholde sygdomskim, vil berøring af sådanne overflader efter hånd/mundkontakt kunne give anledning til sygdomsoverførelse. Risikoen er vanskelig at vurdere, idet der ikke er tilgængelige oplysninger om forskellige moderne toilettypers aerosoldannelse og sprøjt. Såfremt det drejer sig om et anlæg for en enkelt husstand, vil andre smitteveje for mave/tarmsygdomme være dominerende. Gråvandsanlæg til flere husstande åbner imidlertid nye teoretiske smitteveje fra en husstand til en anden. Risikoen anses dog normalt for lille og vil kunne minimeres ved almindelig god hygiejne. Risikoen vil naturligvis alt andet lige stige med stigende bakterietal.”

- Dokumentation af vandkvalitet - Trin 1: Screening af gråvand.

I screeningen blev gråvand (A2) analyseret for følgende mikrobiologiske parametre: *E. coli*, enterokokker, kimtal ved 37 °C (blodagar, inkl. hæmolytiske bakterier), kimtal ved 22 °C og 37°C, coliforme bakterier, *clostridium perfringens* sporer, *aeromonas* (bevægelige arter), *pseudomonas aeruginosa*, stafylokokker (koagulese positive), *campylobacter jejuni/coli*, *salmonella*-arter, *legionella*-arter, koagulase-positive stafylokokker, og for følgende fysisk-kemiske parametre: pH, temperatur, turbiditet, BOD, COD, NVOC, næringsstoffer N og P, sulfit og sulfid, klorid, suspenderet stof, samt udvalgte metaller og organiske mikroforureninger. Screeningen blev gennemført på fire prøver udtaget 2.10 og 9.10 2001 og 11.3 og 19.03 2002. Dog blev ikke alle prøver analyseret for det alle parametre, ligesom der på nogle dage blev udtaget prøver af vand i rentvandstanken (A7). Der blev også lavet en indledende screening af behandlingseffektivitet ved en enkelt dag at udtage vandprøver fra A3, A5 og A6.

Resultatet for de mikrobiologiske parametre samt pH, temperatur og turbiditet er vist i Tabel 9.3. For data ikke vist i tabel (to prøver): Suspenderet stof lå på 39 og 290 mg/L, og BOD på 60 og 70 mg O<sub>2</sub>/L. Værdier for N-total, klorid og sulfat lå under kravene til drikkevand, mens værdier for P-total og olie/fedt lå over kravene. Tungmetaller lå på samme niveau som de naturlige baggrundskoncentrationer, der optræder i drikkevandet i København, bortset for jern, Fe, der lå over drikkevandskravet. For miljøfremmede stoffer blev der generelt fundet meget lave værdier. Undtagelser er anioniske detergenter, der overskred drikkevandskravet med en faktor 15, phenol og 4-methyl-phenol, der blev fundet i moderate koncentrationer, blødgørerne DEP og DEHP, der blev fundet over grænseværdierne for drikkevand, og LAS-indholdet der lå på 0,2 og 0,4 mg/L.

Tabel 9.3: Resultat af indledende screening. Fra Miljøstyrelsen, 2004.

Parameter	Enhed	Dato og prøveindsamlingssted							
		02-10-2001		09-10-2001		11-03-2002		19-03-2002	
		A2	A7	A2	A7	A2	A7	A2	A7
Kimtal ved 22°C	pr ml	6.300.000	1.600	1.900.000	2.000	1.700.000	2.100		
Kimtal ved 37°C (blodagar)	pr ml	1.100.000	80	450.000	180	7.100.000	150		
Hæmolytiske kim, 37°C	pr ml	<10	<10	<10	<10	18	9		
Coliforme bakterier	pr 100 ml	1.700.000		270.000		35.000		11.000	
<i>E. coli</i> /termotolerante coliforme	pr 100 ml	12.000		<10000		<100		49	
Enterokokker	pr 100 ml	<100	<10	<10000	<10	100 / 75	<10	30/290	<10
<i>Clostridium perfringens</i> , sporer	pr ml	<10		<10		<10			
Aeromonas, bevægelige arter	pr ml	210.000		210.000		<100000	<10		
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	pr 100 ml	700	<10	19.000	40	400	10		
Staphylococcus, koagulase positive	pr ml	<100		4.200		<1000	<10		
<i>Campylobacter jejuni/coli</i>	pr 100 ml	i.p.		i.p.		i.p.			
<i>Salmonella</i>	pr 100 ml	i.p.		i.p.		i.p.			
<i>Legionella</i>	pr L	<100		<1000		<100			
pH		7,8		7,9		9,3	8,5		
Temperatur	°C	23,0				23,5	19,7		23,2
Turbiditet	FTU	18,0		36,0			11,0		

Resultatet af den indledende screening af renseeffektivitet er vist i Tabel 9.4. Effekten af RBC (A3) kan sammenlignes med indløbsvand (A2) i Tabel 9.3.

Tabel 9.4: Resultat af første undersøgelse af behandlingseffektivitet. Fra Miljøstyrelsen, 2004.

Parameter	Enhed	A3	A5	A6
Kimtal 22°C	Pr. ml	24.000	2.000	1.500
Kimtal 37°C	Pr. ml	30.000	480	380
Hæmolytiske kim 37°C	Pr. ml	244	<10	<10
Enterokokker	Pr. ml	10	<10	<10

• Dokumentation af vandkvalitet - Trin 2: monitorering.

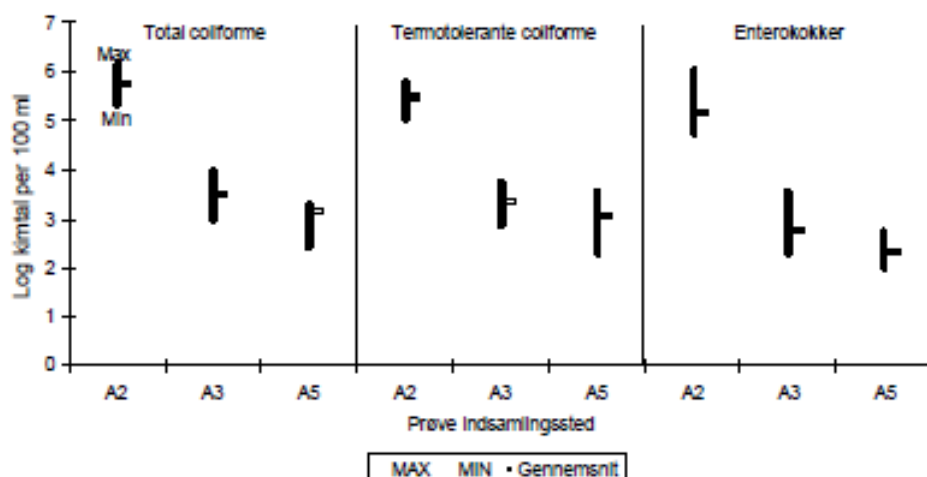
På baggrund af screeningen blev der opstillet et monitoringsprogram. Hvilke parametre, hvor prøven blev taget og hvor mange prøver der er tale om fremgår af Figur 9.2 for indikatorbakteriernes vedkommende, Figur 9.3 for kimalt ved 22 °C og 37 °C, og Tabel 9.5, og for de fysisk-kemiske parametre af Tabel 9.6.

Af Figur 9.2, der viser resultat af prøver fra otte forskellige dage, kan det konkluderes at der skete en generel reduktion i indikatorbakterierne efter biologisk rensning i RBC med en faktor 100-1000 for alle parametre, samt at der blev påvist en begrænset kimaltsreduktion med en faktor 2-3 efter passage af sandfilter. Efter behandling med UV kunne der ikke konstateres nogle af de nævnte mikroorganismer, ligesom disse heller ikke kunne påvises opformering i rentvandstanken.

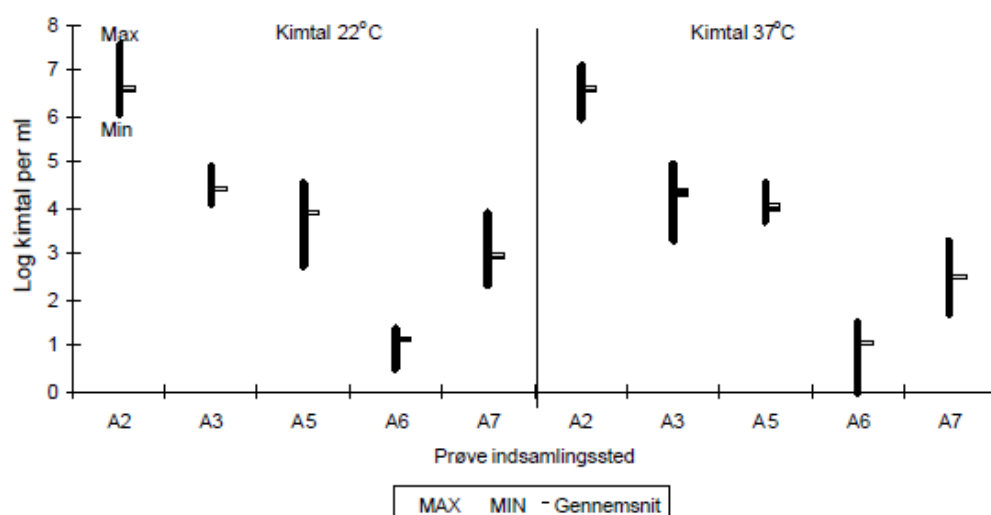
Af Figur 9.3, der viser resultat af prøver fra samme otte dage, ses at kimalt ved 22 °C og 37 °C følger samme mønster som for fækale indikatorbakterier. Det ses desuden at der sker en reduktion med en faktor 100-1000 efter UV, hvor der blev fundet 1 – 25 cfu pr. ml ved 22 °C og 1-34 cfu pr. ml ved 37 °C. Efter opbevaring i rentvandstank skete der en stigning i kimalt i størrelsesordenen en faktor 100. Det skal bemærkes at UV-desinfektion på et senere tidspunkt vist nok blev flyttet til efter rentvandstanken.

I Tabel 9.5 ses resultatet af en analyserunde foretaget på vand indsamlet på en enkelt dag forskellige steder i systemet, inklusive cisterner i lejligheder. Det konkluderes at bakterieindholdet er lavt i cisternene, om end indholdet i cisternen forsynet med vandværksvand er lavere.

Af Tabel 9.6 fremgår ændringer i fysisk-kemiske parametre fra indløb til udløb.



Figur 9.2: Boksplot over antal coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier og enterokokker i gråt ubehandlet spildevand (A2), efter RBC-behandling (A3) og efter sandfiltrering (A5), som observeret i otte prøver udtaget i løbet af 14 dage i maj måned 2002. Der blev også udtaget prøver efter UV og fra rentvandstanken, men her kunne ikke påvises fund. Fra Miljøstyrelsen, 2004.



Figur 9.3: Kimaltal ved 22 °C og 37 °C i gråt ubehandlet spildevand (A2), efter RBC-behandling (A3), efter sandfiltrering (A5), efter UV-bestråling (A6) og efter opbevaring i rentvandstank (A7). Fra Miljøstyrelsen, 2004.

Tabel 9.5: Mikrobiologiske parametre i vand i gråvandssystemet, indsamlet en enkelt dag hele vejen i gennem systemet, inkl. wc-cisterner. Fra Miljøstyrelsen, 2004.

Parameter	Enhed	Prøveindsamlingssted							
		A2	A3	A5	A6	A7	WC cisterne gråvand	WC cisterne gråvand	WC cisterne drikkevand
Kimtal ved 22°C	pr ml	9.300.000	12.000	70	300	690	390	500	10
Kimtal ved 37°C (blodagar)	pr ml	780.000	6.300	99	30	150	80	70	30
Hæmolytiske kim, 37°C	pr ml	4.300	630	10	<10	<10	<10	<10	<10
Coliforme bakterier	pr 100 ml	11.000				79			
Termotolerante coliforme	pr 100 ml	170				i.m.			
Enterokokker	pr 100 ml	10	<10	<10	<10	<10			
Aeromonas, bevægelige arter	pr ml	29.000				40			
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	pr 100 ml	130				<10			
Stafylokokker, koagulase positive	pr ml	140				<10			

Tabel 9.6: Fysisk-kemiske parametre (BI<sub>5</sub> er det samme som BOD). Fra Miljøstyrelsen, 2004.

Parameter	Enhed	Dato og prøveindsamlingssted			
		11-03-2002		30-05-2002	
		A2	A7	A2	A7
Suspenderet stof	mg/l	90	3,4	31	2,1
Turbiditet	FTU	49	11	30	0,8
BI <sub>5</sub>	mg/l	66	1,7	46	< 1
COD	mg/l	190	22	140	14
NVOC	mg/l	16	4,4	28	3,5
Sulfid	mg/l	5,6	< 0,1	3,2	< 0,1
Anioniske detergent- ter	µg/l	2.300	30	< 20	4.900

**Evalueringsrapportens konklusion** vedrørende vandets kvalitet og sundhedsrisici lyder (forkortet): "Det opstillede anlæg var over en lang undersøgelsesperiode driftssikker og producerede vand af en mikrobiologisk kvalitet tæt på kravene til drikkevand. Selvom der ikke kunne påvises bakterielle smitstoffer, herunder Legionella i ubehandlet gråt spildevand må især gram-negative smitstoffer forventes at kunne forekomme i ubehandlet gråvand. Indikatorbakterierne total coliforme, termotolerante coliforme og enterokokker kunne ikke detekteres efter UV-behandling og heller ikke efter opbevaring i rentvandstank, hvilket indikerer at evt. gram-negative smitstoffer inaktiveres eller dræbes af UV-bestrålingen. Ved projektets start blev aerosolbåren indtagelse af smitstoffer og toksiske bakteriebestanddele udpeget som primær sundhedsrisici. Legionella kunne ikke påvises i hverken ubehandlet gråvand eller vand tilført WC-cisternerne og det vurderes at risici er overordentligt lave, hvilket bekræftes af Statens Serum Institut. Risici ved oral indtagelse af rensset gråvand i WC-kummevand vurderes at være lav. Bidraget fra afføringen ved toiletbesøg er den altafgørende faktor til fækal forurening af WC-kummevand.

Resultaterne af de fysiske og kemiske analyser viste en god behandlingseffekt for suspenderet stof, turbiditet, BOD, COD, NVOC sulfid og anioniske detergenter, med reduktioner på 90 – 99%. BOD lå under 2 mg/L hvilket betyder at risikoen for mikrobiel eftervækst er begrænset. Der blev generelt fundet lave værdier for tungmetaller og organiske mikroforureninger, dog undtaget herfra to typer phtalater og to typer phenoler. På baggrund af projektets resultater vurderes det, at indholdet af eventuelle kemiske stoffer især metaller og miljøfremmede stoffer

ikke udgør nogen sundhedsmæssig risiko ved anvendelse af behandlet gråt spildevand til toilet skyl.

**Konklusion:** Rotating Biocontactors-systemet har generelt sikret en god kvalitet af gråvandet. Data kan bruges til sammenligning med DPF-Gråvand. Der er ikke opnået en tilladelse, og dermed findes heller ingen vilkår og krav at lade sig inspirere af. Det bemærkes at efter UV og i rentvandstanken er der målt indhold af kimal, der overskrider Drikkevandsbekendtgørelsen. Det er derfor vigtigt at UV monteres efter rentvandstanken.

#### 9.1.4 Recirkulering af vand i svømmebassin, Ruds Vedby Friluftsbad

I 2015 åbnede Ruds Vedby Friluftsbad i Sorø Kommune efter en større renovering, hvor badet er ombygget til en såkaldt svømmesø. Det klorbaserede renseanlæg blev udskiftet med et biologisk filter, bestående af tre bassiner, som nærmere beskrevet i afsnit 11.2. Bassinet har en maksimal kapacitet på 400 badende, og der findes både et voksenbassin og et børnebassin.

Sorø Kommune har i november 2014. givet "Dispensation til etablering af svømmesø". Dispensationen er givet i henhold til § 13, stk. 3 i Bekendtgørelse nr. 623 af 13.06.2012 Om Svømmebadsanlæg m.v. og disses vandkvalitet. Der skal gives dispensation fordi anlægget er dimensioneret og skal drives efter den tyske vejledning fra 2011, der i Tyskland er grundlag for at godkende svømmebade uden kontinuerlig desinfektion af badevandet. Sagen er behandlet efter Naturstyrelsens Notat af 18.09.2012 Om Kunstige Svømmesøer, brev fra Naturstyrelsen til Sorø Kommune, og de tyske FLL retningslinjer fra 2011. Dispensationen er midlertidig og gælder p.t. for fire år.

De tilhørende kvalitets- og kontrolkrav er gengivet i Tabel 9.7. Det anføres at: "moniterings- og evalueringsprogrammet for bad skal inden anlægget sættes i drift revideres i samarbejde med Statens Seruminstitut og godkendes af Embedslægeinstitutionen. Når det aftalte program foreligger, skal det fremsendes til Naturstyrelsen til orientering". Den fulde skrivelse fra Sorø Kommune er vedhæftet nærværende rapport som bilag.

Miljøstyrelsen har i forbindelse med udarbejdelsen af nærværende rapport oplyst at Ruds Vedby Friluftsbad netop har fået ny dispensation og i den forbindelse fået opdateret kravene i Tabel 9.7. Vandet skal nu kun tjekkes for vira og protozoer, hvis der er tilfælde af fækale uheld i vandet. Miljøstyrelsen har desuden opfordret på opfordring af Styrelsen for Patientsikkerhed, at samtlige praktiserende huslæger i området informeres om den øgede risiko i området for sygdomme, der er relaterede til vand.

**Konklusion:** Ruds Vedby Friluftsbad er et eksempel på et offentligt badeanlæg, der har opnået dispensation til at afvige fra kravet om at anvende klor til at rense vandet på betingelse af et godkendt monitoringsprogram m.v. Selvom der er tale om svagt belastet gråvand, idet de badende allerede formodes at være rene, når de træder ned i bassinet, vurderes smitterisici at være sammenlignelige med risici i recirkuleret vand fra brusere, eftersom de primære risici er forbundet med badegæster, der er syge og fækallier fra de badende selv, jf. Naturstyrelsen 2011. De patogener, der fokuseres på i Ruds Vedby Friluftsbad, kan derfor danne grundlag for monitoringsprogram for Sofiebadet.



Tabel 9.7: Sorø Kommunes krav til Ruds Vedby Friluftsbad.

Parameter	Grænseværdi	Målehyppighed	Analysekrav
Temperatur	$\leq 23^{\circ}\text{C}^{1), 2)}$	Dagligt	Måles
pH	6 – 8,5	Dagligt	Metodeblad M051
Klarhed	Klart. Bunden skal kunne ses.	Dagligt	Visuelt
Bio- og oliefilm samt synlige urenheder	Må ikke være synlig	Dagligt	Visuelt
Samlet badebelastning	Det daglige antal badende i svømmesøen må ikke overstige 400 personer på enkelte dage og et gennemsnit på 300 personer pr. dag i badesæsonen	Dagligt	Optælling ved adgangskontrollen
Flowet	Flow gennem fosforfilteret: $25\text{ m}^3/\text{t}$ , flow ud af stort bassin: $12,5\text{ m}^3/\text{t}$ , samlet flow ud af små bassiner $25\text{ m}^3/\text{t}$	Morgen og aften	Alle flowmålere registreres og noteres jf. violkår 6 efter aftale med miljøafdelingen
Vandstand	Vandstanden skal være op til kanten af alle bassinene	Ugentligt	Visuelt
Iltmætning	80 – 120 %	Ugentligt <sup>5)</sup>	Metodeblad 022
Fosfor	$\leq 0,01\text{ mg P/L}^{3)}$	Ugentligt <sup>5)</sup>	Metodeblad 012
Enterokokker	$\leq 50$ pr. 100 ml	Ugentligt <sup>5)</sup>	DS/EN ISO 7899-2:2000
E. coli	$\leq 100$ pr. 100 ml	Ugentligt <sup>5)</sup>	DS/EN ISO 9308-1:2001 DS/EN ISO 9308-3:1999 (Mikrotiterplate)
Pseudomonas aeruginosa	$\leq 50$ pr. 100 ml	Ugentligt <sup>5)</sup>	DS/EN ISO 16266:2008
Salmonella	Må ikke være påviseligt <sup>4)</sup>	Ugentligt <sup>5), 4)</sup>	DS266:1998 med rettelsesblad DS266/ret 1:1999 (kvalitetivt)
Virus (Adeno, Noro, Rota, Hepatitis A, Entero)	Ikke fastlagt <sup>6)</sup>	Ugentligt <sup>5)</sup>	DNA/RNA ekstraktion samt PCR analyse
Protozoer (Giardia, Glyptosporidium,	Ikke fastlagt <sup>6)</sup>	Ugentligt <sup>5)</sup>	DNA/RNA ekstraktion samt PCR analyse

## 9.2 Input fra Embedslægeinstitutionen

I regi af projektet har vi været i kontakt med Embedslægeinstitutionen to gange, dels telefonisk med embedslæge i Region Syddanmark, dels har embedslæge Emil Johannesen fra Region Hovedstaden deltaget i et følgegruppemøde d. 14.06.2016. Embedslægerne har understreget vigtigheden at indhente en tilladelse til anlægget, samt en lang indkøringsperiode med tilhørende dokumentation før ibrugtagning. Det blev nævnt at en svømmehal har indkøbt et svensk system, Orbital Systems, til direkte recirkulering af bruservand via filterboks placeret i brusekabinsens gulv, men at man ikke kunne give tilladelse til ibrugtagning af systemet på grund af manglende dokumentation for opnået vandkvalitet.

## 9.3 Overvejelser om ansøgning til myndigheder om tilladelse til recirkulering af gråvand fra Sofiebadet ved brug af DPF-Gråvand

Der ansøges i første omgang alene om tilladelse til scenarie 3 (kapitel 8), dvs. opsamling af gråvand fra bruserområde, vand fra håndvaske og rengøringsvand for brug til toiletskyl og tøjvask. I scenarie 3 er inkluderet rengøring som forsyningsmål, men dette foreslås udelukket i ansøgningen, for at minimere direkte kontakt med det rensede vand. Evt. udvidelse til forsyning af brusere udskydes, indtil der foreligger langvarig dokumentation af anlæggets vandkvalitet og driftsbehov.

Renseteknologi baseres på DPF-Gråvandstårn som afprøvet i fuldskalaforsøget (kapitel 7), men optimeret med henblik på fuld tømning af alle boks, og indskydelse af et efterpoleringstrin for frafiltrering af løsrevet biofilm, reduktion af N og P, og pH regulering, før UV-bestråling. Risiko for eftervækst på rentvandssiden forsøges derudover minimeret ved at udnytte kølig opbevaring i udendørstank.

Der lægges op til i monitoreringen at fokusere på de mikrobiologiske vandkvalitetsparametre med overholdelse af Drikkevandsbekendtgørelsen for indgang til ejendom. Det vurderes ikke at være nødvendigt at fokusere på kemiske kvalitetsparametre, da der ikke tilsættes kemikalier i renseprocessen, og eftersom alle benyttede sæber og rengøringsmidler indkøbes af Sofiebadet og er svanemærkede.

Udkast til ansøgning vedlagt som bilag.

# 10. Slutbrugerpræferencer

Vandforsyning baseret på regn- og gråvand er ikke kun et spørgsmål om teknik. Det handler også om holdninger. I det følgende resumeres først litteraturundersøgelser på området, og derefter resultatet af MUDP-projektets egen undersøgelse.

## 10.1 Hvad siger litteraturen

Der findes en del undersøgelser af slutbrugerholdning til brug af regn- og gråvand. Her resumeres et par stykker.

### Nordhavnsgården

Under forsøgene med rensning af lyst gråvand til toiletskyl i Nordhavnsgården (afsnit 4.2) blev brugernes tilfredshed med vandet undersøgt. Der blev gennemført to spørgeskemaundersøgelser omfattende alle de ca. 80 lejermål, der modtog rensset gråvand til toiletskyl. Den første undersøgelse blev gennemført ca. 14 dage efter anlæggets ibrugtagning, og den anden efter ca. 10 måneder. Resultaterne er resumeret i Tabel 10.1 og 10.2.

Tabel 10.1: Resultat af spørgeskema sendt til 84 lejligheder, der i 14 dage havde modtaget rensset gråvand til toiletskyl. 36 lejligheder besvarede spørgeskemaet.

	Ja	Nej
Har du observeret usædvanlig lugt fra toilettet?	6	27
Har du observeret misfarvning af vandet i toilettet?	5	29
Har du observeret mangel på vand i toilettet	9	27

Tabel 10.2: Resultat af spørgeskema sendt til 84 lejligheder, der i 10 måneder havde modtaget rensset gråvand til toiletskyl. 33 lejligheder besvarede spørgeskemaet.

	Ja	Nej	Ved ikke
Har du/l bemærket misfarvning af vandet?	5	25	3
Har du/l bemærket misfarvning af kummen?	10	20	3
Har du/l bemærket usædvanlig lugt?	5	27	1
Har du/l bemærket mangel på vand	14	16	3

Der havde i løbet af anlæggets driftsperiode været vandmangel et par gange, så beboernes observationer er i overensstemmelse hermed.

Det ses at hovedparten af beboerne hverken havde oplevet misfarvninger eller lugtgener. Hvorvidt de 28 %, der rapporterede, at de i modsætning til hovedparten havde oplevet lugtgener og/eller misfarvninger, kunne relateres til gråvandet, eller om disse beboere ville have oplevet tilsvarende gener, hvis der var skyllet med postevand, kan ikke afgøres. Desværre manglede en kontrolgruppe, der ikke modtog rensset gråvand, i undersøgelsen og derfor er der ingen viden om det generelle niveau for lugtgener og misfarvninger.

### Review fra England

I England har non-profit organisationen WaterWise (<http://www.waterwise.org.uk/pages/about-us.html>) i 2016 lavet en undersøgelse under titlen "Perceptions of Rainwater and Greywater". Formålet var at afdække om folks holdning udgør en barriere for udbredelse af regn- og grå-

vandssystemer til forsyningsformål blandt husholdninger i England. Undersøgelsen er baseret på 16 referencer, og kan læses i fuld længde her (<http://www.waterwise.org.uk/pages/perceptions-of-rainwater-greywater.html>).

Studiet konkluderer at der på verdensplan generelt er en positiv holdning til brug af såvel regnvand som gråvand til forsyningsformål, hvis der vel at mærke er tale om ikke-drikkevandsformål. Hvilke formål vandet kan bruges til afhænger primært af graden af kropslig kontakt med vandet, hvilket igen afspejler den tilhørende sundhedsbekymring. Jo lavere opfattet sundhedsrisiko desto større grad af kontakt med vandet kan accepteres. Risikoopfattelsen er dels knyttet til frygt for rest af sundhedsskadelige stoffer i vandet, dels frygt for fejlkobling så drikkevandssystemet forurenes. Risikoopfattelsen vokser hvis der er børn i husholdningen, og med manglende viden om systemernes funktion. Udover risikoopfattelsen synes de økonomiske omkostninger forbundet med installation og drift at udgøre en barriere for udbredelsen af regn- og gråvandssystemer. Studiet konkluderer videre at hvis regn- og gråvand i fremtiden skal bruges til drikkevandsformål er der behov for at afdække hvilke initiativer offentligheden ser som nødvendige, eksempelvis strengere regulering.

## 10.2 Egen undersøgelse

I regi af nærværende projekt er der i 2015 gennemført en undersøgelse i København og Kathmandu med henblik på at analysere og sammenligne lokalsamfunds interesse, bekymringer og forbehold omkring recirkulering af gråvand til forskellige formål. De to case-områder repræsenterer henholdsvis et velfærdssamfund med rigelige vandressourcer og et udviklingsland med begrænsede vandressourcer.

I København blev der udsendt et spørgeskema til 100 lejligheder i boligforeningen 3B-Folehaven i Valby. Denne boligforening blev valgt, fordi gråvandsrecirkulering tidligere har været praktiseret i foreningens fællesvaskeri, og der i dag fortsat benyttes regnvand til dette formål. Ideen om genbrug af gråvand er dermed ikke fremmed for boligforeningen. I København blev der desuden uddelt spørgeskemaer til gæster i Sofiebadet. I alt blev der indsamlet 32 besvarelser fra Danmark.

I Nepal blev der gennemført interviews med husholdninger omkring de samme spørgsmål som indeholdt i de danske spørgeskemaer. Der blev i alt indsamlet 30 besvarelser.

### Respondenterne

Respondenter var i alle tilfælde en person på mindst 18 år og med ansvar for husholdningen. Socioøkonomiske karakteristika for de to grupper er vist i Tabel 10.3.

Tabel 10.3: Karakteristika af respondenter i undersøgelsen.

		Danmark	Nepal	Total
Antal besvarelser		32	30	62
Respondentens køn	Kvinde	23	29	52
	Mand	9	1	10
Respondentens alder	18 – 24	1	2	3
	25 – 34	8	12	20
	35 – 44	8	6	14
	45 – 54	2	2	4
	55 – 64	4	6	10
	65 – 74	7	2	9
	75 eller ældre	2	0	2
Husholdningens størrelse (pers.)	1 -3	26	9	35
	4 -6	3	15	18
	7 – 9	1	6	7
	10 eller flere	1	0	1
Heraf børn under 18 år	0	24	8	32
	1-2	7	21	28
	3-4	0	1	1
	5 eller flere	1	0	1

Respondenternes uddannelsesniveau og indkomstforhold blev også noteret. Den danske gruppe havde generelt et bedre uddannelsesniveau og højere indkomst. I Kathmandu var 7 af respondenterne ikke i stand til at læse eller skrive, 14 kunne læse og skrive, mens 9 havde enten en bachelor eller en kandidatgrad. I København havde alle gennemført grundskole (Folkeskole), og derudover havde 24 enten en erhvervsuddannelse eller en videregående uddannelse. Kun 17 af de nepalesiske respondenter ønskede at oplyse indkomstforhold. Disse fordelte sig mellem 100.000 – 600.000 NRs, med flest i den lave ende. I København lå indkomsterne fra under 200.000 DKR (7 respondenter) op til over 2 millioner (1 respondent) med hovedparten i gruppen 200.000-600.000 DKR.

### Respondenternes brug af gråvand i dag

I Kathmandu svarede 83 % af respondenterne at de genbruger gråvand. De typiske formål er vanding, tøjvask og toiletskyl. På grund af husenes konstruktion hvor køkken og altan typisk ligger sammen på førstesal, mens vaskerum, bad og toilet ligger i stueplan, er det almindeligt at gråvand fra køkkenet benyttes til at vande planter på altanen, mens vand fra tøjvask og bad bruges til toiletskyl. I husholdninger uden vaskemaskine er det almindeligt at genbruge vaskevand, og dermed også overskydende vaskeaktive stoffer, til iblødsætning af næste vask. Der foregår således ingen upgrading, men dog brug af gråvand til samme formål (iblødsætning af tøjvask).

For København svarer 19 % at de genbruger gråvand. Formålet er ikke klart, men det antages at være til vanding, evt. i kolonihaver.

### Respondenternes holdning til genbrug af gråvand

Respondenternes grundholdning til genbrug af gråvand blev forsøgt afdækket med spørgsmålet: Man kan have forskellig holdning til genbrug af gråvand. I hvilken grad er du enig eller uenig med følgende udsagn: "Genbrug af gråvand er vigtigt (skala med 5 niveauer for enighed)"? Dette spørgsmål blev suppleret med afkrydsning af forskellige begrundelser.

I Kathmandu svarede 27 at de fandt recirkulering af gråvand vigtigt eller meget vigtigt, mens 3 fandt at det ikke var vigtigt. I København besvarede kun 20 respondenter spørgsmålet, og her var holdningen også at gråvandrecirkulering var vigtig eller meget vigtig, kun en enkelt svarede ved ikke. Begge steder var den væsentligste begrundelse besparelse af ferskvandsressourcen. I Kathmandu var den næstvigtigste grund en mulig økonomisk gevinst, mens det næstvigtigste for Københavnerne var miljøbeskyttelse.

### **Respondenternes interesse i at anvende rensset gråvand til specifikke formål**

Når det kom til spørgsmålet om hvad respondenterne var villige til at bruge rensset gråvand til var respondenter fra København mere positive end Kathmandu-respøndenterne. På spørgsmålet: I hvilken grad er du enig med udsagnet: Jeg har det OK med at benytte rensset gråvand til vanding, toiletskyl, tøjvask, rengøring, bilvask, personlig hygiejne (bad, håndvask), eller madlavning og drikkevand” var ingen respondenter fra Nepal villige til at drikke rensset gråvand, bruge det i madlavningen eller tage bad i det, mens 10 % af de danske respondenter gerne vil bruge rensset gråvand til madlavning og som drikkevand, og hele 43 % der gerne vil bruge rensset gråvand til personlig hygiejne. De fleste respondenter var enige i at bruge rensset gråvand til toiletskyl og vanding, mens der var blandede holdninger til rengøring, tøjvask og bilvask baseret på rensset gråvand

For at sætte tingene på spidsen blev der også spurgt om hvorvidt vandknaphed ville ændre deres syn på brug af rensset gråvand. I begge lande steg interessen for at bruge rensset gråvand til rengøring, tøjvask og bilvask, mens interessen for brug af gråvand til de mest sensitive formål forblev uændret.

### **Respondent-input til at overkomme barrierer**

For at få viden om hvad der kunne få respondenterne til at øge brugen af gråvand rensset i et recirkuleringsanlæg blev respondenterne bedt om at forestille sig deres hjem udstyret med en gråvandshane, og dernæst prioritere hvad de ville sætte størst pris på:

- Et ekstra filter på hanen med gråvand, så vandet får en ekstra rensning
- At myndigheder og eksperter anbefaler brugen af gråvand
- At det er blevet almindeligt at bruge gråvand

Her fandt alle respondenter at såvel et ekstra filter, som anbefaling fra myndigheder og eksperter var vigtigt. For Kathmandu respondenterne var filteret det vigtigste, mens anbefalingerne var det vigtigste for respondenter fra København.

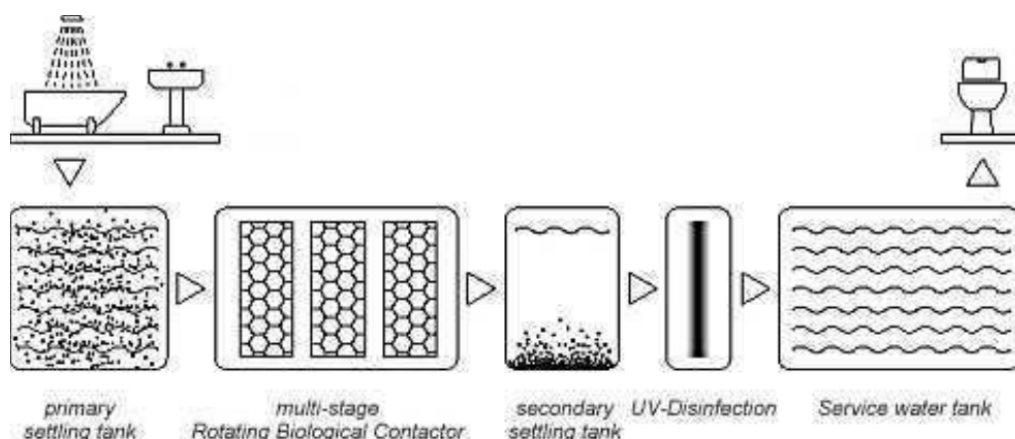
# 11. Markedsaspekter og fact-finding

Genbrug af gråvand vurderes at have et stort potentiale på verdensplan, hvis simple renseløsninger og god dokumentation af vandets kvalitet kan sikres. Her gennemgås forskellige tænkte eksempler på brug af DPF-Gråvandstårnet, samt resultat af fact finding mission til Nepal.

## 11.1 Etageejendom, Nordhavnsgården

For at vurdere om DPF-Gråvandstårnet kan skaleres op til at forsyne større ejendomme benyttes FSB-ejendommen Nordhavnsgården på Østerbro, København med 153 lejligheder. Her har der i perioden 2002 til 2013 været gennemført et fuldskalaforsøg med opsamling af gråvand (bad og håndvask) fra 82 lejligheder til et behandlingssystem baseret på roterende bio-reaktorer placeret i ejendommens kælder med henblik på forsyning af et antal lejligheder med toiletskyllevand. Anlægget er veldokumenteret (Miljøstyrelsen 2004; Eriksson et al. 2009) og besøgt af nærværende projektgruppe i 2014.

Nordhavnsgårdens afprøvede gråvandssystem er illustreret på forskellig vis i figur 11.1a, b, og c. Gråvand fra håndvask og brusebad (lyst gråvand) fra 80 lejligheder ledes via separat faldstamme til tanke i kælderen, hvorefter det gennemgår biologisk behandling efterfulgt af sedimentation, filtrering og UV-desinfektion, før det pumpes fra renvandstank tilbage til lejlighederne. Det skal bemærkes at UV-desinfektionsenheden vist nok siden hen er flyttet til efter rentvandstanken.

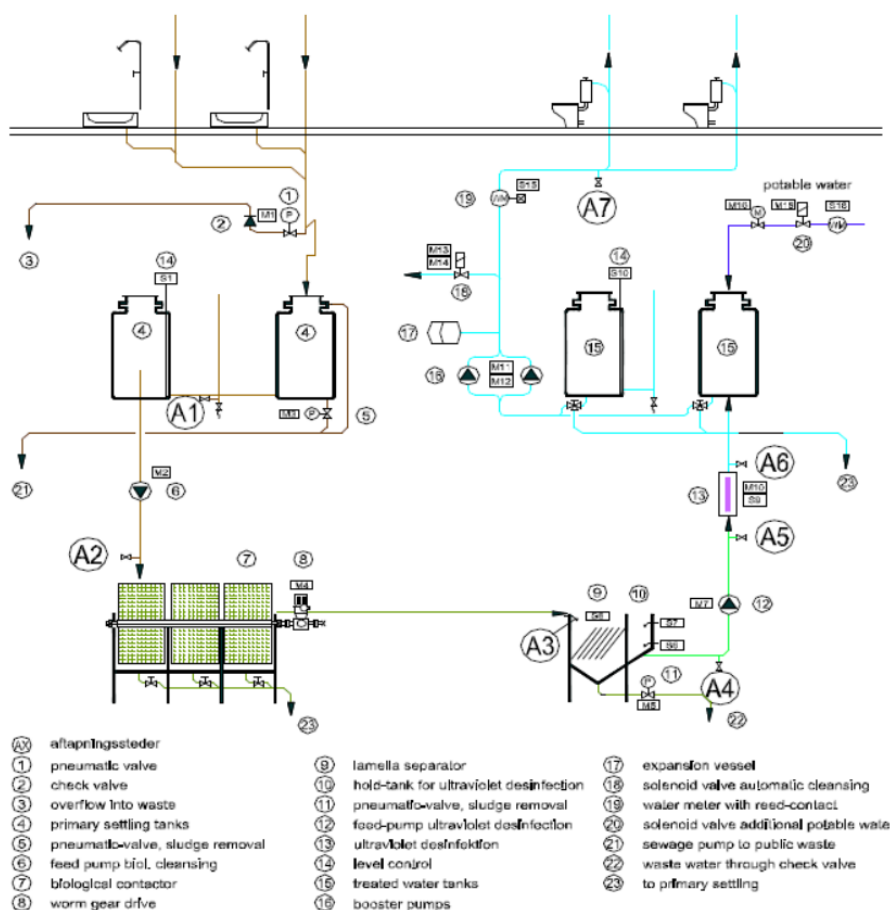


Figur 11.1a. Oversigt over behandlingssystem: Gråvandet sendes fra primær sedimentationstank til tre serielt forbundne kar, der hver kontinuerligt gennemløbes af et 'møllehjul', hvorpå der udvikles en biofilm (multistage rotating biological contactor). Det rensede vand ledes til sekundær sedimentationstank med lameller. Herfra ledes vandet til UV-desinfektion og opbevares så i en rentvandstank, der forsyner toiletterne. Fra Miljøstyrelsen, 2004.





Figur 11.1b. Foto-illustration af behandlingssystem. Øverst fra venstre: Primære sedimentationstanke, de tre roterende møllehjul, lameludskiller, sandfilter (ikke vist i hverken Figur 9a), UV-behandling og rentvandstanke. Fra Miljøstyrelsen, 2004.



Figur 11.1c. Flow-diagram af behandlingssystemet med følgende enheder: 1) pneumatisk ventil, 2) sikkerhedsventil, 3) overløb til spildevand, 4) primær sedimentationstank, 5) pneumatisk ventil for tømning af bundslam, 6) fødepumpe til biologisk rensning, 7) biologisk rensning (møllehjul), 8) 'worm gear drive' – styring af aksel, der driver møllehjulene, 9) lameludskiller, 10) opbevaringstank før UV-desinfektion, 11) pneumatisk ventil for tømning af bundslam, 12) fødepumpe til UV-desinfektion, 13) UV-desinfektion, 14) niveau-kontrol, 15) rentvandstank, 16) pumpe til trykssystem?, 17) ekspansionsbeholder, 18) solenoid ventil for automatisk rensning, 19) vandmåler med aflæsningskontakt, 20) solenoid ventil for spædevand, 21) spildevandspumpe til offentlig kloak, 22) spildevand gennem sikkerhedsventil, 23) til primær sedimentation. Efter Miljøstyrelsen, 2004.

Hjertet i anlægget er de tre møllehjul, der er et tysk udviklet koncept betegnet RBC for Rotating Biological Contactor. Princippet er at møllehjulene roterer langsomt gennem det grå spildevand, hvorved ilt tilføres og organisk materiale i spildevandet nedbrydes. Halvdelen af møllehjulene er altid under vandoverfladen mens den anden halvdel er i forbindelse med luften. På overfladen af møllehjulene er et tæt vævet bølget plastnet, der giver gode muligheder for udvikling af biofilm. Der er generelt opnået gode rensresultater, se mere herom i Rapport 2 (Miljøstyrelsen, 2004). Anlæggets produktion af rensset gråvand har i gennemsnit været 3,9 m<sup>3</sup>/døgn (Miljøstyrelsen, 2004). De to opsamlingstanke har et samlet volumen på 3 m<sup>3</sup>. Det samme gælder de to rentvandstanke. Pladskravet til bioreaktorerne (de tre møllehjul), samt lameludskiller og sandfilter estimeres til i alt omkring 10 m<sup>2</sup>, men det samlede pladskrav er betydeligt større fordi der også skal være adgang til hvert element, så det reelle pladsforbrug til den del af anlægget er omkring 20 m<sup>2</sup>. Det vurderes på baggrund af besigtigelsen 2014 at det samlede areal optaget af anlægget, inkl. tanke, er omkring 30 m<sup>2</sup>.

Drift af anlægget består af et årligt tjek af 6-8 timers varighed, samt 2-3 timers vedligehold pr. måned. Driften består i følgende:

- De primære sedimentationstanke er selvrensende, men skal rengøres manuelt en gang om året
- Slam fra RBC fjernes 1-2 gange årligt ved manuelt at åbne ventiler i bunden af karret under hvert møllehjul.
- Slam fra opbevaringstank før UV-desinfektion skal fjernes ca. 1 gang årligt. Dog hyppigere hvis RBC anlægget ikke kører optimalt
- Lagertankene med rent vand skal renses en gang årligt, jf. producentens manual.

Driftsproblemer i de første 2 år omfattede svag til moderat lugt af svovlbrinte ved udslamning af tanke, to hændelser hvor biofilmen faldt af møllehjulene næsten 100 % og først blev reetableret efter 6-14 dage, samt småproblemer som utætte samlinger, stoppede ventiler, defekte sensorer og defekt aksel i møllehjul. Det konkluderes samlet at driftsproblemerne har været marginale (Miljøstyrelsen, 2004).

Ved projektgruppens besigtigelse i 2014 stod anlægget stille. Det skyldtes, at akslen, der driver de tre møllehjul, var knækket. Dette var sket to gange tidligere, hvor der hver gang var blevet investeret i en ny til ca. 7000 kr. Ejendomsinspektøren ønskede at sætte anlægget i gang igen, men udsigterne hertil var ringe. Dels pga. frustration over det tilbagevendende problem med akslen, dels fordi anlægget aldrig har opnået godkendelse til permanent drift fra sundhedsmyndighederne.

### DPF-gråvandstårn som alternativ

Det antages at de to modtagetanke (primære sedimentationstanke) og de to rentvandstanke fortsat benyttes tillige med UV systemet. De komponenter, der kan udskiftes med et DPF-Gråvandstårn omfatter dermed RBC systemet (de tre møllehjul), lameludskiller og sandfilter. Et DPF-Gråvandstårn antages at producere 1,5 m<sup>3</sup> vand i døgnet, så for at komme op på den nødvendige behandlingskapacitet på 3,9 m<sup>3</sup>/døgnet er der behov for tre parallelle DPF-Gråvandstårne. Pladskravet forventes at blive omtrent halveret fra ca. 20 m<sup>2</sup> til ca. 10 m<sup>2</sup>. Et sådan system er illustreret med fotos i Figur 11.2.



Figur 11.2: Foto-illustration af system til rensning af gråvand på Nordhavsgården vha. tre DPF-Gråvandsenheder som erstatning for nuværende system bestående af RBC, lameludskiller og sandfilter.

Driften af et DPF-Gråvandstårn vil bestå af:

- Månedlig udskiftning af hår-filter i øverste boks i hver enhed. Tidskrav for tre enheder: ½ time. Netrulle løftes op og bortskaffes til forbrænding. Ny lægges i.
- Månedlig rensning af dpf-plader i øverste kassette. Tidskrav for tre enheder: 3 timer. Hele kassetten udskiftes med ren. Den brugte sættes i blød ved opfyldning med vand. Herefter skylles/spules hver plade og lægges tilbage i boks, der er klar til næste månedlige udskiftning. Spulevandet ledes til kloak.

### Vurdering

Et DPF-Gråvandstårn vil have følgende fordele sammenlignet med det nuværende RBC-system:

- Ingen roterende dele, der kan gå i stykker
- Enklere system: Et element (DPF-Gråvandenhederne) erstatter tre elementer (RBC, lamel-udskiller, sandfilter)
- Lavere el-udgifter, da der ikke er udgifter til rotation af møllehjul eller andet. Pumpearbejdet er sammenligneligt.
- Mindre pladskrav (ca. 10 m<sup>2</sup> i stedet for 20 m<sup>2</sup>)
- Lav anskaffelsessum
- Driften af et DPF-Gråvandsanlæg vurderes at være sammenligneligt

## 11.2 Ejendom i Kathmandu

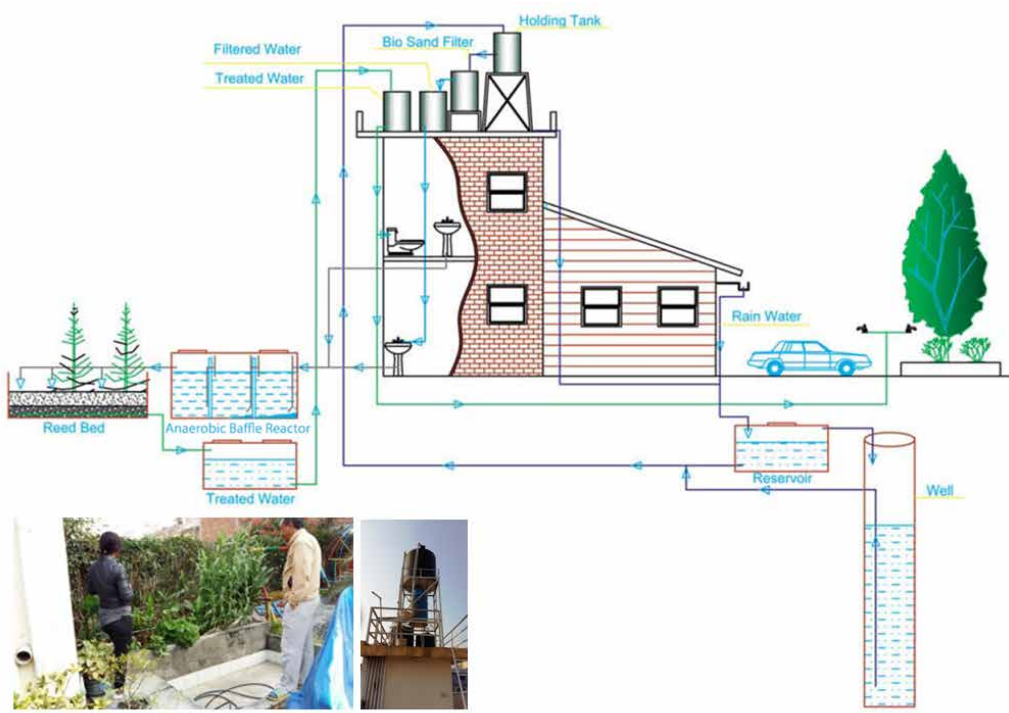
I Kathmandu er den offentlige vandforsyning mangelfuld. Dels er der for lidt vand, dels er vandkvaliteten ringe (<https://www.youtube.com/watch?v=PyPJXW3nJkY>), og samtidig vokser befolkningen. Borgerne i Kathmandu supplerer derfor med grundvand af dårlig kvalitet fra små borer og ved at købe vand fra lokale vand-sælgere. På grund af overudnyttelse falder grundvandsstanden gennemsnitligt med ca. 1,5 m pr. år, og op til 2,5 m pr. år i visse områder (Asian Development Bank, 2010). Køb af vand fra lokale sælgere er ca. 5 gange så dyrt som den offentlige vandforsyning. Brug af regnvand til forsyningsformål anbefales fra bystyrets side og er implementeret nogle steder. Opsamling af regnvand ser ud til at blive stadigt mere populært, og mange uddannede folk og organisationer forsøger at effektivisere implementeringen.

Den årlige nedbør i Kathmandu-dalen er hele 1400 mm, men det meste falder i en kort periode juli-september. Regnvandsbeholdere skal derfor være store for at kunne sikre forsyning over hele året. Håndtering af spildevand, herunder genbrug, diskuteres også aktuelt i området. På nicheniveau pågår forsøg med rensning og genbrug af gråvand. Den mest udbredte teknik synes at være 'anaerobic baffled reactor and reed bed' (B. Prajapati, studietur 2015). Det rensede vand benyttes til toiletskyl, vanding og bilvask.

I Figur 11.8 ses en illustration fra Niva Rain's folder af et anlæg til regn- og gråvandssystemer, som Niva Rain arbejder for at udbrede. Det viste anlæg er opført på en privat ejendom (Bimala Prajapati, studietur 2015). Niva Rain er en NGO der arbejder for bæredygtig vandhåndtering i Nepal (<https://www.facebook.com/nivaraain/>). Som det fremgår af figuren er der tale om to systemer. Dels et gråvandssystem, dels et regnvandssystem. Regnvandssystemet er gennem anvendelsen af vandet koblet til gråvandssystemet, og forsyner i princippet dette.

I Niva Rain systemet opsamles regn fra tagflader til underjordisk reservoir, hvorfra det pumpes til en lagertank på det øverste tag. Før brug sendes det gennem sandfilter til tank for behandlet vand (blå streger i Figur 11.8). Dette vand forsyner ejendommens vaske i køkken og badeværelse. Overskydende vand infiltreres til grundvandet via en brønd. Fra samme brønd kan der pumpes til regnvandstanken på taget. Et foto af regnvandstanken på taget med tilhørende sandfilter er indsat i Figur 11.8.

Gråvandsløsningen kræver et areal på 3,3 m x 1,5 m udgravet til 1,2 m til ABR og et areal på 3,5 m x 1,5 m udgravet til 1 m til tagrørsbedet, det vil sige et samlet areal på ca. 10 m<sup>2</sup> og et samlet volumen på 11 m<sup>3</sup>. Desuden er der behov for to tanke. Den daglige produktion af rensset gråvand fremgår ikke af det materiale vi har fra Nira Rain, men de har mundtligt oplyst at den gennemsnitlige produktion er i størrelsesordenen 0,5 m<sup>3</sup>/d. Dette svarer til at de bruger en tommelfingerregel, der hedder 1 m<sup>3</sup>/d pr. 10 m<sup>2</sup> tagrørsbed.



## DPF-Gråvandstårn som alternativ

## Vurdering

Miljøstyrelsen / Regn- og gråvandscirkulering på bygningsniveau 89

- Både ABR og tagrørsbedet erstattes med et enkelt system. Det kan give anlægs- og driftsbesparelser.
- Det samlede arealkrav er betydeligt mindre, idet et DPF-Gråvandstårn har et grundareal på ca. 0,5 m<sup>2</sup>. Desuden kan gravearbejdet spares da anlægget kan placeres på jorden, f.eks. langs med husmuren.
- I tørtiden må der forekomme et betydeligt vandtab via fordampning fra tagrørsbedet. Sandsynligvis omkring 5 mm pr. dag. Med et fordampningsareal på ca. 5 m<sup>2</sup> bliver det daglige tab omkring 25 L, der ikke kan genvindes. Det vil tære på beholdningen. Med et DPF-anlæg, der kører i lukkede kassetter, bevares det rensede volumen tæt på 100 %.
- Der opleves i dag generelt problemer med at tagrørsbede stopper til og lugter dårligt. Med DPF-anlægget styres akkumuleringen af sediment. Der sikres ilt i alle lag, så man undgår dårlig lugt.

### 11.3 Svømmebad, Ruds Vedby Friluftsbad

Ruds Vedby Friluftsbad (RVF) i Sorø Kommune er i 2015 genåbnet efter en større renovering, hvor bl.a. friluftsbadets klor-baserede renseanlæg blev erstattet af et biologisk renseanlæg. Anlægget er leveret af det tyske firma Polyplan og installeret af det danske anlægsgartnerfirma Junckerhaven v. Lars Juncker i samarbejde med AquaLogik ved Hans Jørgen Pedersen. Anlægget følger den tyske FLL-guideline ([www.fll.de](http://www.fll.de)): Recommendations for the planning, construction and maintenance of private swimming and natural pools. Sorø Kommunes primære argument for at skifte fra klorbaseret rensning til rensning i biologiske filtre var betydelige energibesparelser, i størrelsesordenen 100.000 kr. pr. år, og en fire gange så lav CO<sub>2</sub>-udledning. Anlægsomkostningerne til det biologiske filter var i størrelsesordenen knap 2 mio. Alle oplysninger om RVF stammer fra Lars Juncker. Det vurderes her om DPF-Gråvandsteknologi kunne være et alternativ til det biologiske renseanlæg.

RVF har kun åbent i sommerperioden og den maksimale kapacitet er 400 gæster pr. dag. Der er to svømmebassiner, dels et stort bassin med længde 25 m, dels et mindre børnebassin. Det ny-renoverede anlæg ses i Figur 11.3.

Det biologiske renseanlæg består af tre filtre (Figur 11.4 og 11.5):

1. Aquakultur-filter: 74 m<sup>2</sup> vanddækket substratfilter uden planter. Substratet består af sand.
2. Hydrobotanisk filter: 60 m<sup>2</sup> vanddækket filter med planter. Substratet består af ler.
3. Teknisk filter: 110 m<sup>2</sup> ikke-vanddækket sprinkler-substratfilter uden planter. Substratet består af jernspåner blandet med kalkgranulat.

Derudover benyttes et P-adsorptionsfilter, der fjerner fosfor fra vandværksvand. Vandværksvand bruges til at fylde børnebassinet ved sæsonstart og som spædevand. Vandet i voksenbassinet tømmes kun i tilfælde af forurening.

Filter 1 og 2 kører permanent, mens filter 3 kun tages i brug under spidsbelastning, og ellers blot oversprøjtes en gang pr. time for at holde mikrofloraen i live. I filtrene 1 og 3 opsamles vandet i drænslinger under substratet, så vandet tvinges gennem substratet, mens vandet i filter 2 kun står over substratet og strømmer ud i en kote tæt på vandoverfladen.





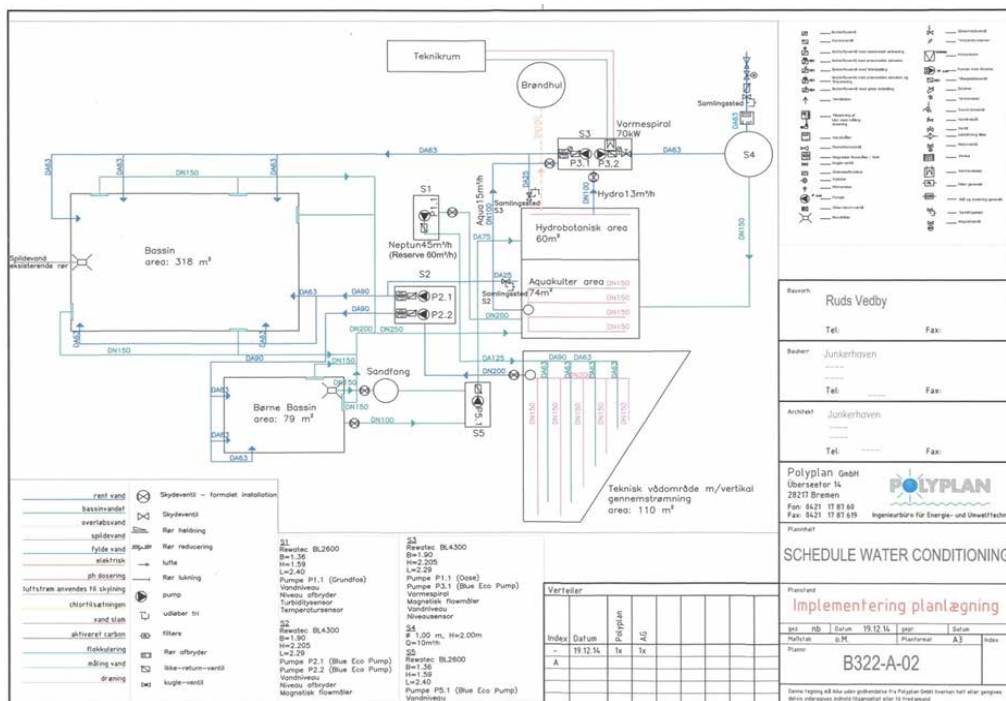
Figur 11.3: Ruds Vedby Friluftsbad efter renovering. I forgrunden det store bassin, bagerst til højre børnebassinnet med sand i den ene del. I baggrunden skimtes det biologiske renseanlæg. De samlede vandoverflader er ca. 700 m<sup>2</sup> og det samlede vandvolumen ca. 860 m<sup>3</sup>. Foto: Lars Juncker.



Figur 11.4: Det biologiske renseanlæg ved RVF- Øverst ses alle tre filtre bestående af 1) "aquakulturfilteret" (i midten), 2) "det hydrobotaniske filter" (forrest) og 3) "det tekniske filter" (bagerst). Foto: Lars Juncker. Nederst ses filter 1 (substrat placeret) og filter 2 under konstruktion. Foto: Per Bjerager.







Figur 11.7: Flowdiagram for RVF. Blå linjer er rent vand, grønne linjer er vand fra svømmebassin, lilla linjer er drænvand fra biologiske filtre. Det fremgår af diagrammet at flowhastigheden fra de to permanente filtre er 15 m³/t fra Filter 1 og 13 m³/t fra Filter 2. I alt renses 28 m³/t.

I det følgende overvejes et DPF-Gråvandssystem som alternativ til RVFs biologiske filtre.

## DPF-Gråvandsteknologi fra Sofiebadet som alternativ

RVF er mange gange større end Sofiebadet, både målt som maksimalt antal badegæster (400 i RVF versus 26 i Sofiebadet) og som vandflow (ca. 700 m³/døgn i RVF versus ca. 1,5 m³/d i Sofiebadet). Udover størrelsen på anlægget er der også betydelige forskelle i karakteren af vandet, der i RVF må karakteriseres som ultralyst gråvand, idet der er tale om vand, der benyttes af mennesker, der allerede er afvaskede, mens gråvandet fra Sofiebadets brugere er selve vaskevandet med sæberester og det afvaskede snavs, hudceller, hår osv. De to største udfordringer ved det biologiske anlæg er ifølge Lars Juncker dels at sikre en lav fosforkoncentration (<0,01 mg P/L) for at minimere risiko for algevækst i bassinerne, dels at anlægget kan holde sygdomsskim lavt, herunder at det kan komme hurtigt i funktion igen, hvis det skal lukkes efter forurening med fækalier, opkast eller lignende.

Hvis et DPF-Gråvandstårn med kapacitet på 1,5 m³/d ukritisk skaleres op til at dække behandlingsbehovet ved RVF skal det være 466 gange så stort for at komme op på 700 m³/d. Arealet optaget af DPF-pilotanlægget er ca. 0,5 m² (0,8 m x 0,6 m) pr. enhed, så det samlede areal-krav bliver minimum 225 m², hvilket er i samme størrelsesorden som det nuværende biologiske filter (244 m²). Tilsvarende vil det samlede volumen i et DPF-alternativ være i samme størrelsesorden som det biologiske filter idet DPF-pilotanlægget har nogenlunde samme højde som gennemsnitsdybden i de tre RVF-filtre.

## Vurdering

Areal- og volumenmæssigt ser der ikke umiddelbart ud til at kunne vindes noget ved at erstatte det biologiske filter ved RVF med DPF-Gråvandstårne.

Når karakteren af gråvandet fra RVF tages i betragtning er det dog spørgsmålet om et DPF-Gråvandstårn overhovedet vil være nødvendigt. Den lave belastning med organisk stof betyder, at der ikke opbygges en tyk biofilm og spørgsmål om tilstopning og ilttilførsel er dermed ikke lige så kritisk som ved rensning af almindeligt gråvand. Den oprindelige DPF-teknologi

udviklet til rensning af vejvand vil sandsynligvis være en bedre løsning. Hvis DPF-Watercare bokse Ved brug af DPF-Watercare bokse (<http://watercare.dk/produkter/dobbeltporoes-filtrering-dpf.aspx>) antages at kunne benyttes til rensning af badevand fra RVF, skal der benyttes 54 tanke med renskapacitet på 32 m<sup>3</sup>/t. Det vil kræve et samlet areal på ca. 200 m<sup>2</sup> og et samlet volumen på ca. 160 m<sup>3</sup>. Dette repræsenterer en arealmæssig besparelse på ca. 20 % og en volumenmæssig besparelse på ca. 70 % sammenlignet med det nuværende biologiske renselanlæg. Det er også her interessant at DPF-bokse er beregnet til indbygning under jordoverfladen, og anlægget dermed eksempelvis kan placeres under flisearealet omkring svømmebadene.

Det vil skulle undersøges om et DPF-Watercare boksfiler kan levere en så lav fosforkoncentration som krævet ved RVF. Ved brug af kalk og jern-oxider er der i forsøg med rensning af vejvand opnået udløbskoncentrationer på 0,04-0,05 mg/L, altså cirka en faktor 5 over kravet til RVF ([http://watercare.dk/CustomerData/Files/Folders/6-brochure/346\\_watercare-dpf-dobbeltpor%C3%B8s-filtrering-fosforfjernelse.pdf](http://watercare.dk/CustomerData/Files/Folders/6-brochure/346_watercare-dpf-dobbeltpor%C3%B8s-filtrering-fosforfjernelse.pdf)). I vejvand er fosforkoncentrationen dog forholdsvis høj (observeret 0,13-0,18 mg/L), så ved en lavere startkoncentration er det ikke usandsynligt at det krævede niveau for friluftsbadet kan opnås.

## 11.4 Husholdning med dårlig vandforsyning

På verdensplan benytter mange mennesker hver dag lang tid på at skaffe frisk vand til den daglige husholdning (Figur 11.9). Hvis gråvand kan opgraderes kan behovet for frisk vand sandsynligvis reduceres. Gevinsten afhænger af hvor effektivt vandet allerede udnyttes via downgrading.

### DPF-Gråvandsteknologi fra Sofiebadet som alternativ

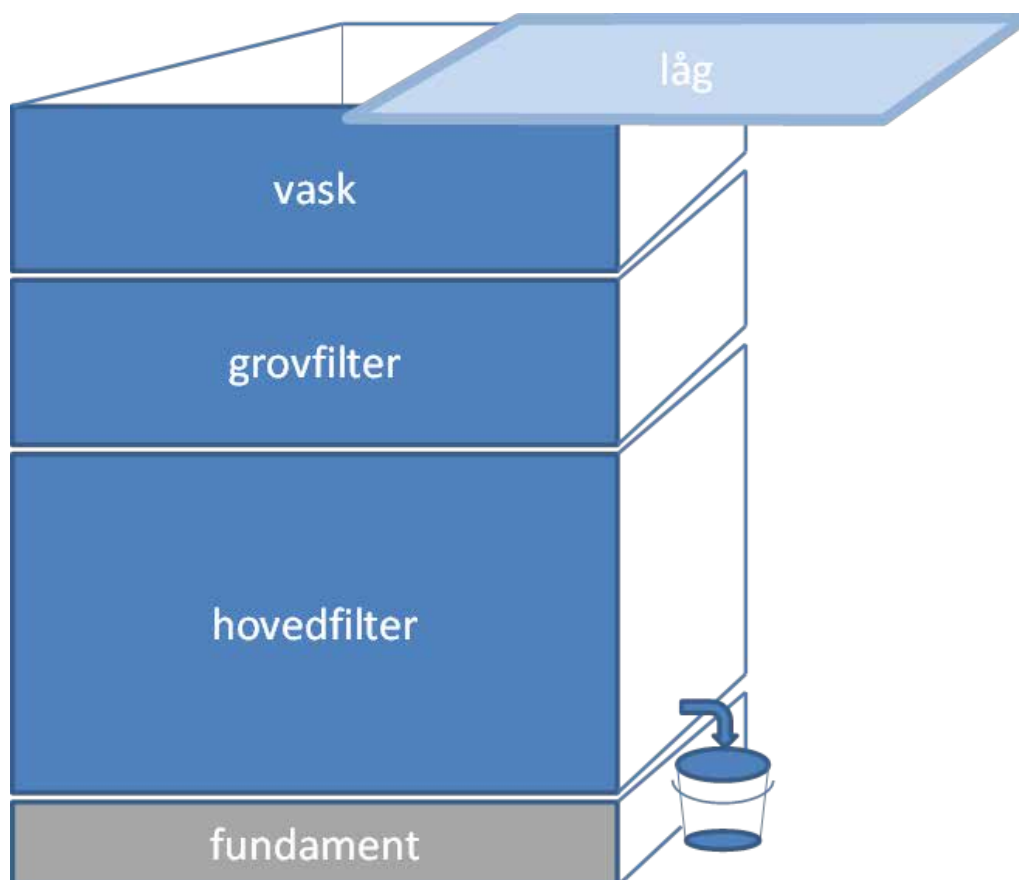
I det følgende beskrives hvordan DPF-Gråvandstårnet kan modificeres til at passe ind i et køkkenelement bestående af vask, bordplade, rensenhed og tank. Ideen er at hver husholdning installerer et sådan element og benytter dette til alle vaske-relaterede funktioner i husholdningen.



Figur 11.9: Foto af nyt lejlighedskompleks i Addis Abeba, Etiopien, 2014. Hver lejlighed har indlagt vand, men den offentlige forsyning er ofte slukket. Nogle forsøger at kompensere ved at installere egne udendørs-tanke, som så fyldes op de dage hvor der er vand i hanerne. Ellers købes vandet hos de lokale vandsælgere eller hentes fra Kommunens tankvogn og bæres så i dunke op i lejligheden. Foto: M.B. Jensen.

Ideen er at udvikle en praktisk, robust og billig renseteknologi, som f.eks. kan købes i Ikea som et saml-selv filter. Der opstilles følgende krav: Målet er at kunne opgradere både lyst og mørkt gråvand til så god kvalitet, at vandet som minimum kan benyttes til personlig hygiejne. Kapaciteten skal være ca. 150 L/dag.

Et design til DPF-køkkenelement er vist i Figur 11.10. Der er her taget udgangspunkt i ca. 0,2 m høje S-kasser fra Dansk Transport Emballage med en længde og bredde på ca. 0,6 m x 0,4 m. Der anvendes 4 kasser i en stak med funktionerne: vask, grovfilter, hovedfilter og fundament. Den samlede højde er på ca. 0,9 m. Hvis der ikke er behov for vasken kan filterenhederne placeres under eksisterende vask. Opbygningen kan afsluttes med et låg, der under brug af vasken kan skydes til side og fungere som afsætningsplads, og ellers lægges over vasken og fungere som bordplade.



Figur 11.10: Illustration af DPF-køkkenelement til gråvandsopgradering med vask, grovfilter, hovedfilter og fundament og opsamlingsbeholder. En vaskeoperationen gennemføres med f.eks. 20 L vand renses vand fra hovedfilteret. Efter vask tages proppen i vasken ud og gråvandet løber hurtigt til grovfilteret, og derfra langsomt gennem hovedfilteret. I løbet af ca. 3 timer kan vandet benyttes igen. Opstillingen skal stå vandret for at renseprocessen virker, og på et fundament for at få plads til opsamlingsbeholderen.

Grovfilteret fanger fedt, jord, større partikler, skræller, hår m.v. Det skal renses hyppigt. Det er opbygget på samme måde som øverste boks i Sofiebadets fuldskalaløsning. Det vil sige et løst net øverst, f.eks. i form af sammenrullet enkamat, placeret lige under afløbet fra vasken, beregnet til at fange hår og andre større elementer, mens resten af kassen fyldes op med DPF-dobbeltlag med stor afstand mellem de to plader i hvert dobbeltlaget og uden biofilmsnet. Fedt og olie fanges i opadvendte hulrum og sediment fanges i nedadvendte hulrum. Driften

består i at udskifte nettet og rense pladerne. Nettet kan evt. bestå af et organisk billigt produkt, f.eks. plantefibre, men skal da udskiftes hyppigt. Pladerne renses ved at skrabe og banke skidtet af. Det burde ikke være nødvendigt at bruge vand til at skylle, blot hovedparten kommer af, så der igen er plads i hulrummene. Snavset kan fx smides på en kompostbunke.

Hovedfilteret består 100 % af DPF-dobbeltlag med biofilmsnet lagt ind mellem de to plader i dobbeltlaget, på samme måde som i Sofiebadet.

Flowet gennem anlægget styres af flydeventiler. Når Grovfilteret er fyldt maksimalt op løftes en flydebold med op, der lukker for afløbet fra vasken. Eventuelt overskydende vand vil blive stående i vasken. Afrøeningen af grovfilteret til hovedfilter reguleres med diameter på drænslange. Der sigtes efter 6-7 L/t.

Vandet strømmer langsomt gennem hovedfilteret (6-7 L/time) fra dobbeltlag til dobbeltlag i en zig-zag-bevægelse. Undervejs blandes det strømmende vand med det stillestående vand, der findes i bunden af de nedre plader i dobbeltlaget. Hvis udløbshanen er lukket stiger vandstanden efterhånden i hovedfilteret. Takket være hulrummene i de øvre plader i dobbeltlaget vil der fortsat være ilt til stede.

Fundamentet kan være hvad som helst, blot det kan bære vægten og ligger stabilt. Så en S-kasse, et støbt fundament, nogle fliser eller en træpalle vil fungere. I en automatiseret version kan fundamentet være en S-kasse med en lille vandpumpe, som løfter vandet op i et vandre-servoir over vasken.

En efterbehandling i form af UV-bestråling eller ozonering af det rensede vand vil også være en styrkelse. Eksempler på kommercielt efterbehandlingsudstyr rettet mod private ses her (<https://www.flipkart.com/home-kitchen/home-appliances/water-purifiers/aquaguard~brand/pr?sid=j9e.abm.i45>) og i Figur 11.11 er et anlæg (vist UV) installeret i en husholdning i Kathmandu. Både pumpe og efterbehandling er teknisk set simpelt at installere, men vil fordyre løsningen.

Figur



11.11: Foto af vandbehandlingsanlæg installeret i privat husholdning i Kathmandu. Kilde: Internettet.

## Vurdering

Ideen vurderes at kunne have interesse i lejligheder som vist i Figur 15, samt i slumkvarterer og andre områder uden eller med mangelfuld central vandforsyning. Med pumpe og efterbehandling kan løsningen muligvis have bredere interesse.

## 12. Konklusion

I regi af MUDP-projektet er der udviklet en teknologi til opgradering af lyst gråvand. Teknikken betegnes DPF-Gråvand. Den væsentligste proces er aerob nedbrydning af organisk materiale, og teknikken kan beskrives som en sekventiel batchreaktortechnik med passiv tilførsel af ilt. Gråvandet tilføres portionsvis til en stribe serielt forbundne reaktorer, der hver indeholder et antal plader og net i en lagdelt opbygning, der muliggør udvikling af biofilm, akkumulering af partikulært materiale og iltning af hvert enkelt lag. Teknikken blev dokumenteret i et 5-ugers forsøg med rensning af vand fra bruser-området hos det offentlige bad, Sofiebadet, København. Her blev der opbygget et DPF-Gråvandstårn bestående af 8 reaktorer stablet oven på hinanden, med et grundareal på ca. 0,5 m<sup>2</sup> og en samlet højde på 1,8 m. Øverste boks blev indrettet til at fungere som forfilter for fangst af hår og større partikler, mens Boks 2-8 var indrettet til biofilm-udvikling i fem lag. Gråvandet blev pumpet fra opsamlingstanken til øverste boks i tårnet, og blev efter en vis opholdstid sendt videre til underliggende boks, osv. ved hjælp af gravitation. Opholdstiden i hver boks var 30 min bestående af 15 minutters fyldning og 15 minutters dræning, styret ved hjælp af timerkontrollerede ventiler på ind- og udløbssiden i hver boks. Flowhastigheden var 1,06 m<sup>3</sup>/d. Under hele forsøgsperioden lå vandets temperatur omkring 25 °C ± 3,5 °C i både influent og effluent, pH lå omkring 8 ± 0,5 pH-enhed i både influent og effluent, og elektrisk ledningsevne (EC) lå på 1000-1200 µS/cm i både influent og effluent uden nogen tydelige mønstre eller tendenser. Da DPF-Gråvandstårnet blev opbygget af rene udgangsmaterialer fungerede de to første uger af forsøgskørslen som en opstartsfasen hvorunder biofilmen kunne udvikle sig, og analyser af turbiditet, total suspenderet stof (TSS), opløst ilt (DO), kemisk iltforbrug (COD), total-kvælstof (TN), total-fosfor (TP) og mikrobiologiske analyser vedrører derfor de sidste tre uger af forsøget. Turbiditet i influent svingede med aktiviteterne i badet og vandets opholdstid i tanken fra 17 - 133 FAU, mens udløbsvandet lå omkring 0 FAU de fleste dage med maks. observation på 4 FAU. TSS svingede i influent fra 1,8 - 88 mg/L, mens TSS i effluent var 0,5-2,5 mg/L. DO svingede i influent fra 0,23 - 7 mg O<sub>2</sub>/L, igen afspejlende opholdstid i gråvandstank, mens DO lå stabilt i effluent på 3 - 4 mg O<sub>2</sub>/L. COD svingede i influent fra 29 - 164 mg O<sub>2</sub>/L, mens niveauet i effluent lå i intervallet 5 - 15 mg O<sub>2</sub>/L. Faldet i turbiditet, TSS og COD og stigningen i DO viser alt sammen at biofilmen fungerer. Dette blev bekræftet af enkeltmålinger på ind- og udløb på udvalgte bokse i DPF-Gråvandstårnet og efterfølgende inspektion af de enkelte lag i hver boks. Disse målinger viste også at det primært er i Boks 1-6 at rensningen foregår, mens Boks 7 og 8, der fremstod med stort set rene materialer primært har betydning for ilt-mætningsgraden (DO). TN reduceres svagt under passage af DPF-Gråvandstårnet, mens TP ikke synes at blive påvirket markant. Dette er uheldigt da det kan give grobund for mikroorganismer i rentvandstanken og bør adresseres i fremtidige anlæg, evt. ved udnyttelse af Boks 7 og 8. Alle mikrobiologiske parametre viser markante fald (coliforme, E.coli, Kimtal 21 °C og Kimtal 37 °C), der indikerer at efterfølgende hygiejnisering af vandet i form af UV vil være mulig.

Nødvendig infrastruktur for indbygning af DPF-Gråvandstårne permanent i Sofiebadets kælder blev undersøgt ved tre scenarier, der varierede med hensyn til gråvandskilderne og forsyningsformålene. Da forsyning af bruserne udgør det altdominerende vandforbrug og den altdominerende gråvandskilde vindes ikke meget vand ved at inkludere mørkt gråvand fra køkkenvask og opvaskemaskine. I Maksimal-scenariet, hvor målet er at forsyne bruserne i badeområdet med rensset gråvand også i spidsbelastningssituationer med 26 gæster på samme tid, vil der være behov for 24 m<sup>3</sup> tankvolumen til opbevaring af gråvand og rensset vand og for 5 DPF-Gråvandstårne til at rense vandet, hvilket stiller betydelige krav til areal. Til gengæld vil drikkevandsforsyningen kunne reduceres til 10 % af den aktuelle forsyning. I Mellemscenariet, der satser på samme forsyningsområde, men kun ved gennemsnitsbelastninger, kan tankbe-

høvet omtrent halveres, men der er behov for samme antal DPF-Gråvandstårne. Besparelsepotentialet afhænger af hvor godt gennemsnitsbetragtningen passer med det virkelige besøgsmønster, og er vurderet til 50 – 75 % af det aktuelle drikkevandsforbrug. I Minimumssceneriet kan der med samlet tankvolumen på 4,5 m<sup>3</sup> og blot et enkelt DPF-Gråvandstårn opnås en besparelse på omkring 20 % ved at forsyne toiletter, vaskemaskiner og rengøringshane med rensset gråvand.

Mulighederne for at opnå dispensation fra Drikkevandsbekendtgørelsens § 3, og dermed benytte rensset gråvand til forsyning af forskellige formål, er belyst ved at gennemgå myndighedsaspekterne omkring andre anlæg i Danmark, der involverer rensset gråvand. Det drejer sig om følgende: Roskilde Festivalen 2015 (recirkulering af lyst gråvand fra bruservogn over omvendt osmose-anlæg til forsyning af brusere). Fællesvaskeriet 3B Folehaven ca. 2000-2009 (recirkulering af mørkt gråvand fra vaskemaskiner over biologisk renseanlæg bestående af mange enheder til forsyning af vaskemaskiner), Nordhavnsgrården 2002-2013 (recirkulering af lyst gråvand fra håndvask og brusebad over Rotating BioContactors til forsyning af toiletter med skyllevand), og Ruds Vedby Friluftsbad 2015 - fortsat (recirkulering af vand i svømmebade over biologisk anlæg bestående af tre enheder, "kunstig svømmesø"). Mens forsøget ved Roskilde Festivalen aldrig blev gennemført på grund af utilfredsstillende vandkvalitet i indkøringsfasen, opnåede hverken Fællesvaskeriet eller Nordhavnsgrården en egentlig myndighedstilladelse. Ved begge anlæg gennemførtes dog en række målinger og evalueringsrapporter, og der var en dialog med sundhedsmyndighederne. Dette pegede på at teknologierne fungerede tilfredsstillende i forhold til at nedbringe organisk stofindhold og mikrobiologiske parametre, men at der manglede en afklaring af myndighedskrav og aftale om hvordan overholdelse af krav skulle dokumenteres. I modsætning hertil kører Ruds Vedby Friluftsbad, der er et offentligt svømmebad, på en udstedt dispensation til at afvige fra kravet om at tilsætte klor som det ellers foreskrives i Svømmebadsbekendtgørelsen. Dispensationen gælder foreløbig for 4 år. Grundlaget for dispensationen synes at hvile på to ting, dels erfaring og dokumentation fra den tyske leverandør af denne type svømmebade, der har været i brug i Tyskland i mange år, dels på solidt samarbejde med myndigheder, der i dette tilfælde omfattede Sorø Kommune, Miljø- og Fødevare Ministeriet, Statens Serum Institut, Embedslægeinstitutionen og Styrelsen for Patientsikkerhed. Det har resulteret i risikoanalyse, udpegning af overvågningsparametre, forebyggende foranstaltninger og beredskab ved tilfælde af problemer. Selvom Ruds Vedby Friluftsbad af flere årsager ikke er direkte sammenlignelig med Sofiebadet, konkluderes det at det i Danmark er muligt at opnå dispensation fra bekendtgørelser på vandforsyningsområdet, hvis der foreligger solid dokumentation for at alternativet er forsvarligt, og hvis personalet, der driver anlægget, ved hvad de har med at gøre, også i tilfælde af uheld eller nedbrud.

På baggrund af vandkvaliteten opnået med DPF-Gråvandstårnet er der lavet udkast til en ansøgning til respektive myndigheder for permanent installation, med henblik på gennemførelse af scenarie 3, hvor lyst gråvand renses til forsyning af toiletter, vaskemaskiner og rengøringshane ved hjælp af en gråvandstank på 1,5 m<sup>3</sup>, en rentvandstank på 3 m<sup>3</sup> og et enkelt DPF-Gråvandstårn, svarende til en produktion på 1,5 m<sup>3</sup> brugsvand i døgnet, og en drikkevandsbesparelse på 20 %. I udkastet er der opstillet forslag til monitoringsprogram, drift af anlæg, samt forslag om indkøringsfase og yderligere dokumentation. Inspiration hertil er primært hentet fra Ruds Vedby Friluftsbad.

Slutbrugerpræferencer er afdækket gennem litteraturstudie og egen interview- og spørgeskemaundersøgelse i København og Kathmandu. Det ser generelt ud til at bekymringen for recirkulering af gråvand vokser med graden af kontakt med vandet. Denne bekymring er størst hvis der er børn i husholdningen. Interessen for at genbruge gråvand øges hvis den offentlige forsyning er utilstrækkelig, og med opmærksomhed omkring miljøbeskyttelse. I både København og Kathmandu er villigheden til at genbruge gråvand betydelig og begrundet med ønsket om at passe på ferskvandsressourcen, og i Kathmandu derudover et ønske om en større forsynings-sikkerhed. I København vil interessen øges mest hvis myndighederne står for godkendelse af

vandkvaliteten, mens de i Kathmandu vil betyde mest om man kan sætte et ekstra filter på gråvandshanen i egen bolig.

For at vurdere markedsmuligheder er DPF-Gråvandsteknologien vurderet som alternativ til Rotating BioContactors ved etageejendommen Nordhavnsgården, et konstrueret vådområde (tagrørsbed) ved en-families-ejendom i Kathmandu, og de biologiske renseanlæg ved det offentlige svømmebad Ruds Vedby Friluftsbad. Mens DPF-Gråvandstårne ser ud til at være en fordel infrasturkturmæssigt og driftsmæssigt ved de to første tilfælde, vil det ikke være en umiddelbar fordel ved Ruds Vedby Friluftsbad. DPF-Gråvandsteknologien er desuden overvejet som indbygget i køkkenelement, målrettet lejligheder i udviklingslande med ringe eller ingen offentlig vandforsyning.



# 13. Referencer

- Asian Development Bank, 2010. NEPAL: Kathmandu Valley Water Distribution, Sewerage, and Urban Development Project (Financed by: Technical Assistance Special Fund, Government of Denmark and the Cooperation Fund for the Water Sector).  
<https://www.adb.org/sites/default/files/project-document/66536/34304-01-nep-tacr-03.pdf>
- Bullermann, M, Lücke, F.-K., Mehlhart, G. and Klaus, U. 2001. Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke: Hygienische und Betriebstechnische Begleituntersuchungen. fbr-Schriftenreihe , Band 7.
- Eriksson, E., H.R. Andersen, T.S. Madsen, and A. Ledin. 2009. Greywater pollution variability and loadings. *Ecological Engineering* 35: 661-669
- FN, 2016. World Water Report 2016. [www.unwater.org/publications/world-water-development-report/en](http://www.unwater.org/publications/world-water-development-report/en).
- Friedler, E. 2004. Quality of Individual Domestic Greywater Streams and Its Implication for on-Site Treatment and Reuse Possibilities. *Environmental Technology* 25(9): 997–1008.
- Ghaididak, D.M. and K.D. Yadav. 2013. Characteristics and Treatment of Greywater – A Review. *Environmental Science and Pollution Research International* 20(5): 2795–2809.
- Hildebrandt, S. 2016. Bæredygtig global udvikling – FN's 17 verdensmål i et dansk perspektiv. Udgivet af Jurist- og Økonomforbundet.
- Jensen, M.B., K. Cederkvist, P.E.R. Bjerager, and P.E. Holm. 2011. Dual porosity filtration for treatment of stormwater runoff: First proof of concept from Copenhagen pilot plant. *Water Science and Technology*, 64(7): 1547-1557.
- Liu, L og M.B. Jensen. 2017. Climate resilience strategies of Beijing and Copenhagen and their links to sustainability. *Water Policy*: In review.
- Liu, L. and M.B. Jensen. Green infrastructure for sustainable urban water management: Practices of five forerunner cities. Cites: submitted, March 2017
- Miljøstyrelsen, 2001. Identifikation af gråvandsanlæg. Økologisk Byfornyelse og spildevandsrensning 9.
- Miljøstyrelsen, 2003. Vurdering af etablerede forsøg med opsamling, rensning og genanvendelse af gråvand til toiletskyl. Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning, 42.
- Miljøstyrelsen, 2004. Etablering og drift af anlæg til opsamling, rensning og genanvendelse af gråvand til toiletskyl og maskinvask af tøj – Nordhavngården. Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning, 47.
- Miljøstyrelsen, 2006. Udvikling af metode til karakterisering af gråvand. Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning, 58.
- Naturstyrelsen, 2011. Sundhedsaspekter ved regnbaseret rekreativt vand i større byer. Af: Jes Clausson-Kaas, Anders Dalsgaard, og Lone B. Thuesen. ISBN: 978-87-92708-35-9.
- Naturstyrelsen, 2014a. Udredning om brug af sekundavand i Danmark. ISBN nr. 978-87-7091-542-7.

- Naturstyrelsen, 2014b. Brug af regnvandsanlæg i Danmark. Erfaringsopsamling.  
[http://naturstyrelsen.dk/media/nst/7496658/140304%20Brug%20af%20regnvandsanl%C3%A6g%20i%20Danmark\\_erfaringsopsamling\\_FINAL%20\(2\).pdf](http://naturstyrelsen.dk/media/nst/7496658/140304%20Brug%20af%20regnvandsanl%C3%A6g%20i%20Danmark_erfaringsopsamling_FINAL%20(2).pdf)
- Nolde, E. 1995. Betriebswassernutzung im Haushalt durch Aufbereitung von Grauwasser. wwt 1/95: 17 – 25.
- Rygaard, M, L. Alsbjørn, M. Ejlsing, B. Godskesen, R. Hansen, B. Hoffmann, C. Jørgensen, K. Ledgaard, H-M. F. Møller, M-B. B. Poulsen, M. Schimdt, L. Tarp-Johansen, S. Vigsø, og K. Zambrano: Sekundavand i Nordhavn – En forundersøgelse til strategi for alternativ vandleverance. DTU Miljø. <http://vandibyer.dk/media/1085/vib-sekundavand-i-nordhavn.pdf>
- Shiklomanov IA (1999) World Water Resources: Modern Assessment and Outlook for the 21st Century, (Summary of World Water Resources at the Beginning of the 21st Century, prepared in the framework of the IHP UNESCO). Federal Service of Russia for Hydrometeorology & Environment Monitoring, State Hydrological Institute, St. Petersburg.
- Teknologisk Institut, 2012. Rørcenteranvisning 003 fra september 2012 om brug af regnvand til wc-skyl og vaskemaskiner i boliger
- Thorup, N. 2015. Evaluation Report Bad 2 Bad Roskilde Festival 2015. Dokument modtaget fra Roskilde Festival.

# Bilag 1. Roskilde Kommunes tilladelse til RF2015



**ROSKILDE**  
KOMMUNE

Copenhagen Business School  
Att.: Esben Rahbek Gjerdmum

**Miljø**  
Rådhusbuen 1  
Postboks 100  
4000 Roskilde

Tlf.: 46 31 30 00

kommunen@roskilde.dk  
sikkerpost@roskilde.dk  
www.roskilde.dk

## **Tilladelse til genanvendelse af rensed brusevand i forsøgsanlæg på Roskilde Festivalen**

15. juni 2015

### **Afgørelse**

Roskilde Kommune giver hermed Copenhagen Business School tilladelse til midlertidig opsætning af et vandbehandlingsanlæg med omvendt osmose og UV-anlæg (Ultraqua MonoRay) til behandling af det brugte brusevand i et projektområde på Roskilde Festivalen 2015 til genbrug i brusere på samme festival i et afgrænset projektområde. Vilkaar for tilladelsen er beskrevet nedenfor i punkt 1-10. Tilladelsen gives i henhold til § 21, stk. 1 i Vandforsyningsloven.

Sagsnr. 271091  
Brevid. 2117499

Ref. MAAS

Dir. tlf. 46 31 37 79  
Mariaas@roskilde.dk

### **Vilkaar**

1. Tilladelsen er gældende i perioden 15. juni til 5. juli 2015.
2. Anlægget skal udføres og opstilles, som beskrevet i ansøgningsmaterialet af 28. maj 2015. Anlægget skal være bemandet døgnet rundt, tilsluttet online monitoring og der skal sikres prøvetagningsmulighed før og efter anlægget. Der må ikke være sammenkobling af ledningsført drikkevand og det rensede vand. Sammenblandingen skal ske i et separat system.
3. Anlægget må tages i brug fra den 15. juni 2015, så det kan køres ind.
4. Før brusere med den rensede vand må tages i brug, skal der udtages 2 på hinanden følgende prøver der er rene, af udvidet kontrol svarende til "afgang vandværk". Prøverne skal analyseres for indholdet af sæberester.

Der skal udtages 1 prøve af det brugte brusevand inden det køres igennem anlægget, hvor der analyseres for kim 22, kim 37, coliforme bakterier og e-coli bakterier og hvor der samtidig analyseres for sæberester.

Desuden skal der udtages 1 prøve af det rensede vand inden sammenblanding med drikkevand, svarende til udvidet kontrol "afgang vandværk".

5. Der skal iværksættes et driftskontrolprogram i driftsperioden, som omfatter følgende analyser, som udtages første gang når anlægget er sat i drift:

<b>Åbningstider</b>	
Mandag-torsdag	10-15
Fredag	10-14

<b>Telefontider</b>	
Mandag-onsdag	08-15
Torsdag	10-17
Fredag	08-14



Parameter	Minimumsfrekvens	*Efter projektanlæg, men inden opvarmning til brusevand
Kim ved 22°C	En i døgnet	x
Kim ved 37°C	En i døgnet	x
Coliforme bakterier	En i døgnet	x
E. coli	En i døgnet	x

Alle analyser skal foretages som hasteanalyser.

Der skal under driftsperioden, udtages 1 prøve af det brugte brusevand inden det køres igennem anlægget, hvor der analyseres for kim 22, kim 37, coliforme bakterier og e-coli bakterier og hvor der samtidig analyseres for sæberester.

- Alle prøver skal udtages og analyseres af et akkrediteret laboratorium. Resultater skal fremsendes løbende til Roskilde Kommune til [drikkevand@roskilde.dk](mailto:drikkevand@roskilde.dk).
- Ved overskridelse af grænseværdierne skal Roskilde Kommune straks kontaktes i henhold til drikkevandsbekendtgørelsen. Roskilde Kommune træffer afgørelse om, hvilke foranstaltninger, der skal træffes. Ved overskridelse, skal anlægget straks stoppes.
- Ved driftsforstyrrelser i forbindelse med anlægget, som kan have betydning for kvaliteten af det udpumpede vand, skal Roskilde Kommune have besked.
- Der skal være tydelig skiltning af, at anlægget er et forsøgsanlæg, og at der er tale om rensed badevand i den ene brusevogn. Skiltning skal være både på dansk og engelsk.
- Anlæggets effekt og øvrig funktion skal dagligt kontrolleres og der skal føres logbog over kontrollerne.

### **Sagens behandling og Roskilde Kommunes vurdering**

Copenhagen Business School (CBS) har den 8.maj ansøgt Roskilde kommune om et forsøgs projekt om "nyt vand", som CBS ønsker at gennemføre i samarbejde med Grundfos koncernen og Roskilde Festivalen. Den 28. maj har CBS fremsendt en opdateret ansøgning med supplerende materiale.

Projektet bliver støttet af Grundfos fonden. Grundfos leverer et vandbehandlingsanlæg, som via omvendt osmose gør det muligt at genanvende vandet fra bruserne fra et



begrænset område på Roskilde Festivalen. I projektet renser Grundfos gråt spildevand fra brusebade på Roskilde Festivalen til genbrug i brusere på samme festival. Der står konkret to brusebadsvogne ved siden af hinanden, den ene med grundvand og den anden med "genbrugsvand".

Side3/5

Projektet er en del af "Rio til Roskilde" (R2R) initiativet, som er et strategisk samarbejde mellem Copenhagen Business School og Roskilde Festivalen. Den grundlæggende ide er at bruge Roskilde Festivalen som bylaboratorium til at studere adfærdsmønstre og afprøve bæredygtige løsninger. Projektet har til formål at studere holdninger og adfærd i forhold til genbrug af spildevand, Skabe opmærksomhed om globale vandudfordringer og – løsninger, samt skabe en debat i vandindustrien i Danmark i forhold til muligheder og begrænsninger i forhold til genbrug af vandressourcer.

Anlægget som ønskes opsat på Roskilde Festivalen bygger på teknologien "omvendt osmose" (RO). Anlægget består indledningsvis af filtre af forskellige størrelser, som skal filtrere uønskede materialer fra (fx plastre, jord, sand) badevandet, således at den efterfølgende RO-membran ikke stopper til. Herefter ledes badevandet gennem en RO-membran, som har til formål at fjerne bakterier, vira samt miljøfremmede stoffer i vandet (fx sæbe). Da RO-membranen også fjerner alle mineraler i vandet, vil det rensede badevand blive tilsat grundvand i et forhold på minimum 1:3. Efter sammenblandingen, ledes vandet igennem et UV-anlæg, som er en ekstra sikring for at undgå opblomstring af bakterier. Herefter forventes det rensede badevand på ny at være af drikkevandskvalitet, som kan anvendes i en anden brusevogn på festivalen. Der renses ca. 500 liter vand i timen. Hele anlægget er tilkoblet en bakteriecelle, som hvert 15. minut overvåger vandets bakterieindhold.

Selve anlægget vil blive tilkoblet et badeområde på Roskilde Festivalen, område L. Forsøgsbadeområdet vil være adskilt fra det andet badeområde, der vil være nøje skiltning, så det sikres, at der ikke er nogen festivalgæster, der benytter forsøgsbruserne uden at vide at det er rensat vand. Der vil blive ført en meget nøje analysekontrol med vandet fra anlægget, for at sikre at de gæster der benytter bruserne ikke bliver udsat for nogen sundhedsmæssig risiko.

Roskilde Kommune lægger i sin vurdering af sagen særlig vægt på, at anlægget er af midlertidig karakter, og at det er en velkendt teknologi som er brugt globalt. Der er tale om en kendt teknologi, som kan rense det brugte badevand til drikkevandskvalitet. Der skal der foreligge analyser af, at det rensede vand overholder kvalitetskravene i drikkevandsbekendtgørelsen inden at bruserne med det rensede vand må tages i brug. Der foretages analyser under hele driftsperioden og som en ekstra sikkerhedsforanstaltning kører der en online monitorering døgnet rundt, og anlægget er bemannet døgnet rundt. Roskilde Kommune vurderer derfor på baggrund af ovenstående, at der ved almindelig drift af anlægget ikke er nogen sundhedsrisici forbundet med, at afprøve denne teknologi på festivalen.



### **Naturstyrelsens udtalelse i sagen**

Naturstyrelsen har den 13. maj 2015 udtalt, at det er Roskilde Kommune der er myndighed på området, og at anlægget skal leve op til kvalitetskravene for drikkevandsbekendtgørelsen. Udkast til tilladelsen har været i høring hos Naturstyrelsen fra d. 2. juni til d. 12. juni 2015. Naturstyrelsen har telefonisk givet besked om, at de ikke vurderer de er part i sagen, da det er Roskilde Kommune der er myndighed på området.

### **Embedslægens udtalelse i sagen**

Embedslægen har den 10. maj 2015 udtalt at, "Sundhedsstyrelsen har ingen bemærkninger til den påtænkte genanvendelse af spildevand fra brusebad behandlet med omvendt osmose til brug i brusebadet igen på Roskilde-festivalen i 2015." Udkast til tilladelsen har været i høring hos Embedslægen fra d. 2. juni til d. 12. juni 2015. Embedslægen har ikke haft yderligere bemærkninger.

### **Udtalelse fra andre parter i sagen**

Udkast til tilladelsen har været i høring hos CBS, Grundfos, Roskilde Festivalen og Roskilde Forsyning fra d. 2. juni til d. 12. juni 2015.

Grundfos er kommet med en enkelt rettelse i forhold til bakterieicensoren, og rettelsen er indarbejdet i den endelige tilladelse.

Roskilde Forsyning har bemærket, at der ikke må ske sammenkobling af ledningsført drikkevand og det rensede vand, og at det tilfredsstiller forsyningens behov. Derudover har forsyningen ønsket en præcisering af vilkår 4 og 9, hvilket er blevet tilgodeset.

De andre parter har ikke haft bemærkninger til tilladelsen.

### **Offentliggørelse**

Afgørelsen vil blive annonceret i 4 uger fra d. 15. juni 2015 på Roskilde Kommunes hjemmeside.

### **Klage- og søgsmålsvejledning**

Denne afgørelse kan påklages til Natur- og Miljøklagenævnet, indtil 4 uger efter at afgørelsen er offentliggjort jf. vandforsyningsloven § 77<sup>1</sup>, hvilket vil **siges senest d. 13. juli 2015**. Afgørelsen kan påklages af afgørelsens adressat samt enhver, der har en individuel, væsentlig interesse i sagens udfald jf. vandforsyningslovens § 80<sup>1</sup>.

Ønsker du/I at klage over afgørelsen, skal det ske via klageportalen, som er en digital selvbetjeningsløsning. Klageportalen kan findes på [www.borger.dk](http://www.borger.dk) eller [www.virk.dk](http://www.virk.dk). En klage er indgivet, når den er tilgængelig for myndigheden i klageportalen. Ved klage skal der betales et gebyr, hvis størrelse er oplyst i klageportalen. Gebyret

---

<sup>1</sup> Vandforsyningsloven, LBK nr. 1199 af 30. september 2013



betales med betalingskort i Klageportalen. På forsiden af Natur og Miljøklagenævnets hjemmeside [www.nmkn.dk](http://www.nmkn.dk) findes både link til Klageportalen, vejledning til hvordan I logger på den samt vejledninger til klagereglerne og gebyrordningen. Klagen sendes gennem Klageportalen til Roskilde Kommune. Roskilde Kommune videresender herefter klagen til Natur- og Miljøklagenævnet, ledsaget af sagens akter.

Natur og Miljøklagenævnet skal som udgangspunkt afvise en klage, der kommer uden om Klageportalen, hvis ikke der er særlige grunde til det. Ønskes en fritagelse, skal en begrundet anmodning herom sendes til Roskilde Kommune. Vi videresender herefter anmodningen til Natur- og Miljøklagenævnet, som træffer afgørelse om, hvorvidt anmodningen kan imødekommes.

Jf. vandforsyningsloven § 78<sup>1</sup> har en klage ikke opsættende virkning. Roskilde kommune vurderer ikke, at der tale bygge- og anlægsarbejde og at projektet derfor kan igangsættes før klagefristens udløb. Medmindre at Natur- og Miljøklagenævnet bestemmer andet.

#### **Aktindsigt og søgsmål**

I forbindelse med denne afgørelse, er det kun muligt at indklage afgørelsen til Natur- og Miljøklagenævnet. Kommunen kan ikke bringes for retten i forbindelse med afgørelsen. Roskilde Kommune gør opmærksom på, at alle har mulighed for at få aktindsigt i denne sag<sup>2</sup>.

I tilfælde af spørgsmål eller bemærkninger er I meget velkomne til at kontakte mig på e-mail [mariaas@roskilde.dk](mailto:mariaas@roskilde.dk) eller telefonnummer 46 31 37 79.

Venlig hilsen

Maria Ammentorp Sørensen  
Hydrogeolog

Kopi til:

- Danmarks Naturfredningsforening – [dn@dn.dk](mailto:dn@dn.dk) samt [roskilde@dn.dk](mailto:roskilde@dn.dk)
- Danmarks Sportsfiskerforbund – [post@sportsfiskerforbundet.dk](mailto:post@sportsfiskerforbundet.dk)
- Forbrugerrådet – [fbr@fbr.dk](mailto:fbr@fbr.dk)
- Sundhedsstyrelsen, Embedslægeinstitution Øst – [seost@sst.dk](mailto:seost@sst.dk)
- Naturstyrelsen – [nst@nst.dk](mailto:nst@nst.dk)
- Roskilde Forsyning – [forsyning@rosforsyning.dk](mailto:forsyning@rosforsyning.dk)
- Roskilde Festival – [info@roskilde-festival.dk](mailto:info@roskilde-festival.dk)
- Grundfos – att. Pia Rask - [prask@grundfos.com](mailto:prask@grundfos.com)

---

<sup>2</sup> Jf. Offentlighedsloven (Lov nr. 606 af 12. juni 2013), Forvaltningsloven (Lovbekendtgørelse nr. 433 af 22. april 2014) og Lov om aktindsigt i Miljøoplysninger (Lovbekendtgørelse nr. 660 af 14. juni 2006)

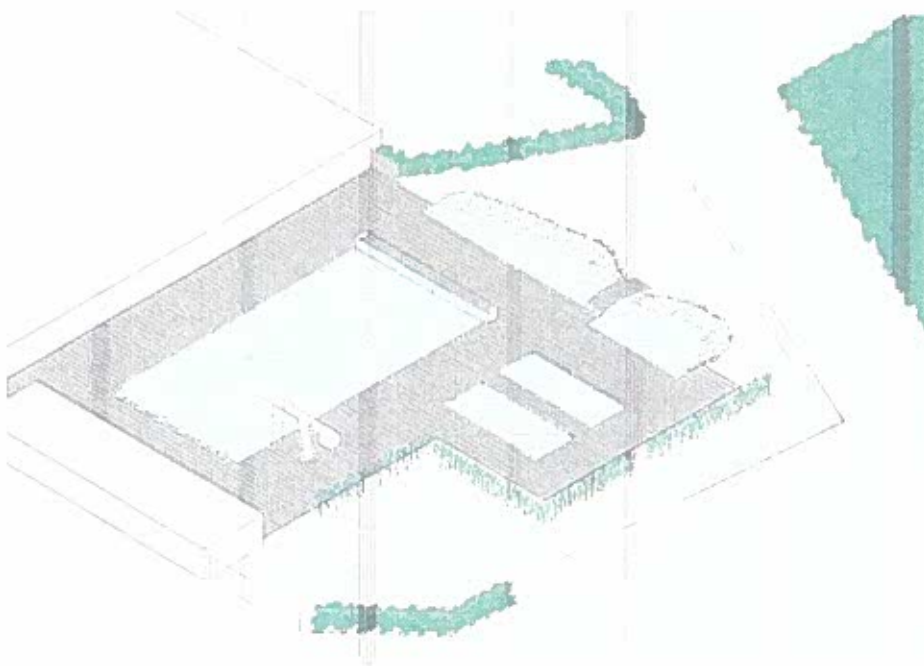


## Bilag 2. Sorø Kommunes tilladelse til Ruds Vedby Friluftsbad

Sorø kommune  
Byggegruppen, Fagcenter Teknik, Miljø og Drift  
Rådhusvej 8  
4180 Sorø

## Dispensation til etablering af svømmesø

**Friluftbadet Ruds Vedby, Skolegade 15, 4291 Ruds Vedby**



Dato: 1. november 2014  
J.nr. 340/2012-870\*4  
Sag vedr.: 1547

Teknik, Miljø og Drift  
Rådhusvej 8  
4180 Sorø  
T 57 37 6000  
s@stekom@soroe.dk  
www.soroe.dk

Arsk. MLite Krilgar  
T 57 37 6062  
arkr@soroe.dk

**Modtag din post i din digitale postkasse – Få overblik og skån samtidig miljøet !**

I din digitale postkasse kan du modtage din post sikkert fra det offentlige, banker, a-kasser m.fl. Få adgang til Digital Post fra [www.soroe.dk](http://www.soroe.dk). Brug dit NemID til at logge på – har du ikke NemID, så bestil på [www.nemid.nu](http://www.nemid.nu). Vær opmærksom på, at henvendelser med personoplysninger altid besvares sikkert via Digital Post eller almindeligt brev.

## Afgørelse

Sorø Kommunes Fagcenter for Teknik Miljø og Drift, Miljøafdelingen (i det følgende nævnt Miljøafdelingen) giver hermed en 2-årig dispensation til ombygning og drift af Ruds Vedby Friluftsbad, Skolegade 15, 4291 Ruds-Vedby til en offentlig tilgængelig kunstig svømmesø uden desinfektion, gældende for drift i sommerene 2015 og 2016.

Dispensationen gives iht. § 13 stk. 3 i bekendtgørelse om svømmebadsanlæg m.v. og disses vandkvalitet (bekendtgørelse nr. 623 af 13-06-2012). Der skal gives dispensation fra svømmebadsbekendtgørelsen, fordi anlægget er dimensioneret og skal drives efter den tyske vejledning fra 2011, der i Tyskland er grundlaget for at godkende svømmebade uden kontinuerlig desinfektion af badevandet.

Dispensationen kan først udnyttes, når Naturstyrelsens accept foreligger iht. § 13. stk. 3. Sagen er behandlet efter Naturstyrelsens notat som beskriver supplerende vilkår til hygiejne og dokumentation (Notat fra Naturstyrelsen af 18. september 2012 og brev fra Naturstyrelsen af 25. juni 2013).

Der er i dispensationen fastsat vilkår, der skal sikre de hygiejniske forhold i bassinerne.

Vilkårene er sat ud fra svømmebadsbekendtgørelsen, Naturstyrelsens notat om kunstige svømmesøer fra 18. september 2012, brev fra Naturstyrelsen af 25. juni 2013, 31. oktober 2014 og de tyske retningslinjer FLL fra 2011.

## Vilkår for tilladelsen

Tilladelsen gives som en dispensation iht. § 13 stk. 3 i bekendtgørelse om svømmebadsanlæg m.v. og disses vandkvalitet. Dispensationen gives på nedenstående vilkår:

### Generelt

Dispensationen omfatter virksomhedens drift af den udendørs svømmesø som angivet i ansøgningsmaterialet.

Inden der foretages nye etableringer eller ændringer af svømmebadsanlægget, skal der gives anmeldelse til Miljøafdelingen i Sorø kommune. Kommunen tager herefter stilling til, om ændringer er godkendelsespligtige.

Et eksemplar af denne dispensation skal til enhver tid være tilgængelig på svømmebadet, og driftspersonalet skal være grundigt instrueret i godkendelsens vilkår.

## **Indledning**

Byggegruppen, Teknik, Miljø og Drift i Sorø Kommune har ansøgt om tilladelse til at ombygge det eksisterende Ruds Vedby Friluftsbad til en svømmesø med offentlig adgang.

Den planlagte ombygning af Ruds Vedby Friluftsbad omfatter en renovering af de eksisterende bassiner samt udskiftning af den eksisterende traditionelle klorbaserede vandrensning med en biologisk vandrensning efter svømmesøprincipperne.

Svømmesøer er et nyt fænomen i Danmark og er først blevet anlagt i private haver, men har nu også skabt interesse hos campingpladser og friluftsbade. Det specielle ved kunstige svømmesøer er, at de ikke desinficeres med klor eller lignende, da rensningen foregår vha. biologiske filtre.

Naturstyrelsen har med den nye svømmebadsbekendtgørelse fra 18. september 2012 gjort det muligt, at dispensere fra kravet om kontinuerligt desinfektion, såfremt Naturstyrelsens ekstra vejledning herfor er efterkommet, samt at Naturstyrelsen kan tilslutte sig dispensationen.

### **Dispensations gyldighed**

Denne dispensation til anlæg og drift af en kunstig svømmesø er meddelt for en periode på 2 år fra idriftsættelsesdatoen. Dispensationen kan efter ansøgning herefter forlænges med op til 4 år eller gives permanent, hvis Naturstyrelsen kan tilslutte sig dette. Dispensationen bortfalder hvis den ikke er udnyttet inden den 1. august 2015.

### **Anlægs og driftskrav**

1. Miljøafdelingen skal hvert år inden sæsonstart skriftligt informeres om hvornår svømmesøen åbner for badning ligesom Miljøafdelingen skal orienteres inden for 8 dage når svømmesøen lukker for sæsonen.
2. Ved hver sæsonstart skal der foreligge dokumentation for at kvalitetskravene i vilkår 34 er overholdt i mindst 2 uger før anlægget tages i anvendelse.
3. Vandet i anlægget må ikke desinficeres med klor eller andre desinfektionsmidler eller ved UV-behandling.
4. Der må ikke anvendes pesticider, algicider eller fungicider i vandet eller i materialer, der kommer i kontakt med vandet. Disse midler må heller ikke anvendes i nærheden af vandet, fx plænerens og algefjerner.
5. Svømmesøen skal dimensioneres til en badebelastning (antal badende pr. dag) der opfylder de tyske retningslinjer for dimensionering af svømmesøer beskrevet i Richtlinien für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von Frei bädern mit biologischer Wassenaufbereitung (Schwimm- und Badeteiche). FLL 2011. Dokumentation for dimensionering skal fremsendes til Miljøafdelingen før etablering. Hvis dimensioneringen ikke er udført under en ISO 9001-certificering, skal beregningskompetencerne dokumenteres på anden vis.
6. Der skal etableres flowmålere til registrering af flowet gennem henholdsvis fosforfilteret og det biologiske filter efter aftale med Miljøafdelingen.
7. Det daglige antal badende i svømmesøen må ikke overstige 400 personer på enkelte dage og et gennemsnit på 300 personer i badesæsonen.
8. Efter dage med over 300 badegæster skal der inden åbning næste dag udtages en prøve af bassinvandet som skal analyseres for Enterokokker og E. coli. Miljøafdelingen kan ændre dette program efter indstilling fra Embedslægeinstitutionen.
9. Overholdelse af vilkår 7 skal sikres ved adgangskontrol. Kontrolmetoden skal indsendes til Miljøafdelingen til godkendelse senest 1 måned før anlægget tages i brug.

10. Vandet i anlægget skal recirkuleres, filtreres og renses i det mikrobiologiske filter kontinuerligt som beskrevet i dimensionsgrundlaget i FLL'en.
11. Til ledning af spædevand skal sikres mod tilbageløb efter Ruds Vedby Vandværks retningslinjer.
12. Skimmersøen og bredzonen må ikke anvendes af badegæsterne, da disse områder betragtes som en del af filteranlægget og ikke som en del af svømmesøen.
13. Bassinerne skal bundsuges dagligt, og bundsugningsvandet skal ledes til kloak.
14. Der skal foreligge en teknisk brugsanvisning, der som minimum indeholder følgende oplysninger:
  - Diagram over de tekniske anlæg
  - Normale måleværdier for trykmålere, flowmetre, temperatur, pH m.v., samt grænser for hvilke måleværdier, der bør medføre en given foranstaltning f.eks. bundsugning.
  - Almindelig procedure for drift af skimmersø
  - Procedure for udledning af større mængde bassinvand.
  - Særlige foranstaltninger ved driftsstop, reparationer o. lign.
  - Beregning af den totale vandmængde i systemet
15. Der skal foreligge et renholdelsesprogram, der sikrer, at der alle steder, hvor der er adgang for bassinets brugere, er et højt rengøringsniveau.
16. Den tekniske brugsanvisning og renholdelsesprogram skal være udarbejdet og indsendt til Miljøafdelingen senest 1 måned før anlægget tages i brug.
17. Der skal udpeges en ansvarlig person for drift og vedligeholdelse af anlægget og Miljøafdeling skal orienteres herom og om alle ændringer i dette.

### **Hygiejne og rengøring**

18. Der skal være opsyn med de hygiejniske forhold ved svømmesøen i hele åbningstiden.
19. Af hensyn til hygiejnen må følgende ikke benytte svømmesøen:
  - Børn under 3 år og andre personer der bruger ble
  - Personer med smitsomme sygdomme eller sår (eksempelvis diarre sygdomme, forkølelse, ondt i halsen, øjenbetændelse, ørebetændelse og betændelse i huden)
  - Personer med fodvorter eller fodsvamp
  - Hunde og andre dyr

20. Der må ikke fortæres madvarer eller henkastes affald i eller i nærheden af svømmesøen.
21. Badendes adgang til svømmesøen må kun ske gennem omklædnings- og badeafsnit efter afvaskning uden badetøj på.
22. Baderegler for benyttelse af svømmesøen skal være opslået ved indgangen til omklædnings- og badeafsnit på let synlige steder, og skal være let læseligt. I bilag 1 er der en oversigt over, hvad informationstavlerne som minimum skal indeholde.
23. Der skal være bade- og toiletfaciliteter i umiddelbart nærhed af svømmesøen.
24. Vandfugle, rotter, hunde og andre pattedyr skal holdes væk fra svømmesøen og skimmersøen. Evt. afskærmning og rotteforebyggelse kan være nødvendig.
25. Madrester skal fjernes fra omgivelserne dagligt for at forhindre, at dyr tiltrækkes.
26. Snegle skal holdes på et minimum, og ved behov fjernes manuelt fra omgivelserne og svømmesøen.
27. Materialer og planter i direkte kontakt med vandet i svømmesøen skal være egnet til vandkontakt, og må ikke kunne afgive farlige stoffer eller organismer, fx parasitter fra træ.
28. Der må ikke være fisk i svømmesøen eller skimmersøen.
29. Der skal være effektive barriere og/eller dræn eller hensigtsmæssig placering i terræn, der forhindrer overfladevand i at strømme til svømmesøen.
30. I badesæsonen skal rengøring af gulve i omklædnings- og badeafsnit samt toilet faciliteter foretages hyppigt. Gulve i barfodsområder skal rengøres mindst hver 3. time i åbningstiden. Vægflader i bruserum og toiletter skal rengøres dagligt. Armaturer, bassinudstyr, herunder startplatforme og vippebrædder, skal rengøres dagligt for bl.a. at forebygge algevækst og opformering af uønskede mikroorganismer.

#### **Kvalitets- og kontrolkrav til bassinvand og vandrensningsanlæg**

31. Inden ibrugtagning af svømmesøen skal leverandøren af filteranlægget sandsynliggøre og stå inde for, at renseanlægget er udført efter vilkår 5. Dokumentation fremsendes til Miljøafdelingen inden åbning.
32. Inden anlægget må åbnes for badende ved ny sæsonstart, skal der foreligge mindst 2 analyser udtaget på forskellige dage, udtaget i henholdsvis det dybe og et af de lave bassiner. Analysedataene skal leve op til vandkvalitetskravene i vilkår 34.

33. Vand til fyldning af svømmesøen samt spædevand skal opfylde kvalitetskravene til drikkevand (drikkevandsbekendtgørelsens bilag 1d) og skal tilledes gennem fosforfilteret.

34. Følgende kvalitets- og kontrolkrav skal overholdes og efterkommes i svømmesøen:

Parameter	Grænseværdi	Målehyppighed	Analysekrav
Temperatur	$\leq 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>1)2)</sup>	Dagligt	Måles
pH	6-8,5 <sup>1)</sup>	Dagligt	Metodedatablad M051
Klarhed	Klart. Bunden skal kunne ses	Dagligt	Visuelt
Bio- eller oliefilm samt synlige urenheder	Må ikke være synlig	Daglig	Visuelt
Samlet badebelastning	Det daglige antal badende i svømmesøen må ikke overstige 400 personer på enkelte dage og et gennemsnit på 300 personer pr. dag i badesæsonen.	Dagligt	Optælling ved adgangskontrollen
Flowet	Flow gennem fosforfilteret: 25 m <sup>3</sup> /time, flow ud af stort bassin: 12,5 m <sup>3</sup> /time, samlet flow ud af små bassiner 25 m <sup>3</sup> /time	Morgen og aften	Alle flowmålere registreres og noteres jf. vilkår 6 efter aftale med miljøafdelingen
Vandstand	Vandstanden skal være op til kanten af alle bassinerne	Ugentligt	Visuelt
Iltmætning	80-120 %	Ugentlig <sup>5)</sup>	Metodedatablad 022
Fosfor	$\leq 0,01\text{ mg P/L}$ <sup>3)</sup>	Ugentlig <sup>5)</sup>	Metodedatablad 012
Enterokokker	$\leq 50\text{ pr. }100\text{ mL}$	Ugentlig <sup>5)</sup>	DS/EN ISO 7899-2:2000
E. Coli	$\leq 100\text{ pr. }100\text{ mL}$	Ugentlig <sup>5)</sup>	DS/EN ISO 9308-1:2001 DS/EN ISO 9308-3:1999 (Mikrotiter-plate)
Pseudomonas aeruginosa	$\leq 50\text{ pr. }100\text{ mL}$	Ugentlig <sup>5)</sup>	DS/EN ISO 16266:2008



Salmonella	Må ikke være påviseligt <sup>4)</sup>	Ugentlig <sup>5) 4)</sup>	DS 266:1988 med rettelsesblad DS266/ret 1:1999 (kvalitativt)
Virus <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adeno</li> <li>• Noro</li> <li>• Rota</li> <li>• Hepatitis A</li> <li>• Entero</li> </ul>	Ikke fastlagt <sup>6)</sup>	Ugentlig <sup>5)</sup>	DNA/RNA ekstraktion samt PCR analyse
Protozoer <ul style="list-style-type: none"> <li>• Giardia</li> <li>• Cryptosporidium</li> </ul>	Ikke fastlagt <sup>6)</sup>	Ugentlig <sup>5)</sup>	DNA/RNA ekstraktion samt PCR analyse

Ovenstående monitorings- og evalueringsprogram for badevandet skal inden anlægget sættes i drift revideres i samarbejde med Statens SerumInstitut og godkendes af Embedslægeinstitutionen. Programmet kan løbende ændres efter godkendelse hos Embedslægeinstitutionen. Når det aftalte program foreligger, skal det fremsendes til Naturstyrelsen til orientering.

#### Noter

- 1) Målingen eller prøvetagningen skal foregå ca. 30 cm under vandoverfladen.
- 2) Vandet kan enkelte timer eller dage tillades at gå op på 25° C, men må ikke opvarmes, så temperaturen konstant overskrider 23° C, da væksten af sygdomsfremkaldende mikroorganismer stiger ved temperaturer over 23° C.
- 3) Fosforindholdet bør være så lavt som muligt for at hindre vækst af alger og cyanobakterier. I drikkevand tillades op til 0,15 mg/l, men skal være lavere i svømmesøer. Indholdet kan oplyses af vandværket, og fosfor må om nødvendigt fjernes, før vandet tilføres svømmesøen.
- 4) Prøvetagning kun nødvendig, hvis der er vandfugle til stede.
- 5) Prøverne skal udtages midt på dagen. Prøvehyppigheden kan efter første års drift af svømmesøen nedsættes til hver 14. dag, hvis analyseresultaterne i 3 på hinanden følgende prøver taget med én uges mellemrum viser, at kravene er overholdt. Ved overskridelse skal der igen tages ugentlige prøver.
- 6) Der foreligger ikke grænseværdier for badevandets indhold af virus og protozoer. Indholdet overvåges i forhold til afklaring af smittekilde til evt. sygdomstilfælde i lokalområdet.

35. Målinger og prøvetagning i vilkår 34 skal de første 4 uger udtages i alle tre bassiner hver gang. Efterfølgende kan Miljøafdelingen i samråd med embedslægerne efter begrundet ansøgning eventuelt nedsætte antallet af bassiner der undersøges. Prøver til bestemmelse af virus og protozoer udtages i et af de små bassiner.

Miljøafdelingen kan ligeledes nedsætte frekvensen af analyserne, hvis det viser sig at indholdet af en af parametrene er stabilt og væsentligt under grænseværdien eller øge frekvensen hvis det viser sig, at der er en parameter som har meget varierende værdier og mere end en overskridelse af grænseværdien.

36. Antal badende på dagen skal registreres på det tidspunkt hvor der foretages måling/ prøveudtagning, ligesom det skal registres om bunden kan ses overalt i svømmesøen. Oplysningen skal fremgå af analyse-rapporten.
37. Resultaterne af målingerne skal noteres i en driftsjournal.
38. Effektiviteten af vandrensningsanlægget på mikroorganismer skal af-prøves i et indkøringsprogram før sæsonstart og mindst 3 gange i første sæson og 2 gange i anden sæson. Hvis effektiviteten ikke overholder vilkår 39 kan kommunen sætte krav om supplerende afprøvninger. Indkøringsprogrammet skal forhåndsgodkendes af Miljøafdelingen i samråd med Embedslægeinstitutionen jf. vilkår 34. Hvis fosforindholdet ikke overholdes, kan Miljøafdelingen stille krav om op til 2 målinger af effektiviteten i fosforfilteret.
39. Vandrensningen anses som effektiv, når antallet af indikatororganismer som minimum reduceres til en tiendedel målt som forskellen mellem indgang og udgang fra det biologiske vandrensningsanlæg. Indikator-organismene er hhv. E. Coli, Enterokokker og Pseudomonas aerin-giosa. Indikatororganismene som der undersøges for, kan ændres af Mil-jøafdelingen efter aftale med Embedslægeinstitutionen.
40. Der skal udtages yderligere prøver til analyse, hvis der er kendskab til, at syge mennesker har badet i vandet, eller der er mistanke om, at mennesker er blevet syge af at bade i vandet, eller hvis der konstateres rotter i eller i nærheden af bassinet. I tilfælde af tvivl bør sagen drøftes med Sundhedsstyrelsen.
41. Forbud mod benyttelse af svømmesøen skal ske, når der er umiddel-bar sundhedsmæssig risiko, dvs. f.eks. ved:
- stop af cirkulationspumper/renseanlæg,
  - koncentration af enten Intestinale enterokokker, E. coli, Pseudo-monas aerin-giosa eller salmonella der overskrider den tilladte grænseværdi (jf. vilkår 34),
  - mistanke om væsentlige badegener,
  - driftsproblemer med det mikrobiologiske renseanlæg,
  - forekomst af smitte, der med sandsynlighed kan henføres til svømmesøen,
  - stor risiko for smitte, fx fra opkast og afføring i anlægget, eller hvis der konstateres rotter i eller i nærheden af svømmesøen,
  - konstatering af udtalte hygiejniske problemer med anlægges renholdelse eller med de hygiejniske forhold omkring anlægget,
  - mangelfuld virkning af det biologiske renseanlæg,
  - uklart vand eller tilstedeværelse af cyanobakterier eller
  - tilstrømning af overfladevand fra omgivelserne.

42. Der skal foreligge en beredskabsplan for håndtering af forbud mod benyttelse af svømmesøen når der er umiddelbar sundhedsmæssig risiko jf. vilkår 41. Beredskabsplanen skal være udarbejdet og indsendt til Miljøafdeling senest 1 måned før anlægget tages i brug. Ændringer i Beredskabsplanen skal indsendes til godkendelse hos Miljøafdelingen inden de kan tages i brug.
43. Efter driftsstop af renseanlægget over et døgn, må svømmesøen kun tages i brug igen, når to på hinanden følgende prøver udtaget på to forskellige dage viser, at vandkvalitetskravene er opfyldt

#### **Egenkontrol**

44. Svømmesøens ejer skal sikre at kvalitets- og kontrolkrav jf. vilkårene 32 til 44 er opfyldt.

Kontrollen med svømmesøens kvalitet jf. vilkår 34 udføres som egenkontrol for svømmesøens ejers regning.

45. Kontrolparametrene i vilkår 34 skal udtages og analyseres af et akkrediteret laboratorium, jf. Miljøministeriets bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger (bek. nr. 231 af 5. marts 2014) med mindre Miljøafdelingen for enkelte parametre har fastsat andet. Drift kan søge om fritagelse for enkelte parametre hvor det er mest hensigtsmæssigt.
46. Resultaterne af analyserne skal sendes til Miljøafdelingen og Ruds Vedby Friluftsbad så snart de foreligger. Analyseresultaterne skal fremsendes til Miljøafdelingen direkte fra laboratoriet på mail til [teknik-miljoe@soroe.dk](mailto:teknik-miljoe@soroe.dk).
47. Driftsjournalen med oplysningerne fra egenkontrollen (driftskontrol samt akkrediterede målinger) skal opbevares i mindst fem år og skal udleveres til Miljøafdelingen efter begæring. Dokumentation vil endvidere være en forudsætning for evt. forlængelse af dispensationen efter de første to år.
48. Det første år af anlæggets drift skal den månedlige egenkontrol senest den 5. i den efterfølgende måned indsendes til Sorø kommunes Miljøafdeling på mail [teknik-miljoe@soroe.dk](mailto:teknik-miljoe@soroe.dk).
49. Hvis resultatet af en egenkontrol, som svømmesøens ejer lader udføre viser, at vandets kvalitet ikke er i overensstemmelse med de fastsatte kvalitetskrav i vilkår 34, skal den for anlægget ansvarlige jf. vilkår 17 straks underrette Sorø Kommune på mail [teknik-miljoe@soroe.dk](mailto:teknik-miljoe@soroe.dk).

## Beskrivelse af det ansøgte anlæg

Byggegruppen, Fagcenter Teknik, Miljø og Drift i Sorø Kommune har ansøgt om tilladelse til at ombygge det eksisterende Ruds Vedby Friluftsbad, Skolegade 15, 4291 Ruds Vedby til en svømmesø med offentlig adgang. Friluftsbadets udformning efter ombygningen er vist på figur 1 og 2.

Ved ombygningen af friluftsbadet renoveres de 3 eksisterende bassiner (1 dybt og 2 lave) og vandspejlet i bassinerne hæves op til bassinkanten svarende ca. 30 cm. Efter renoveringen af bassinerne vil det samlede bassin-volumen udgøre 858 m<sup>3</sup> jf. figur 3.

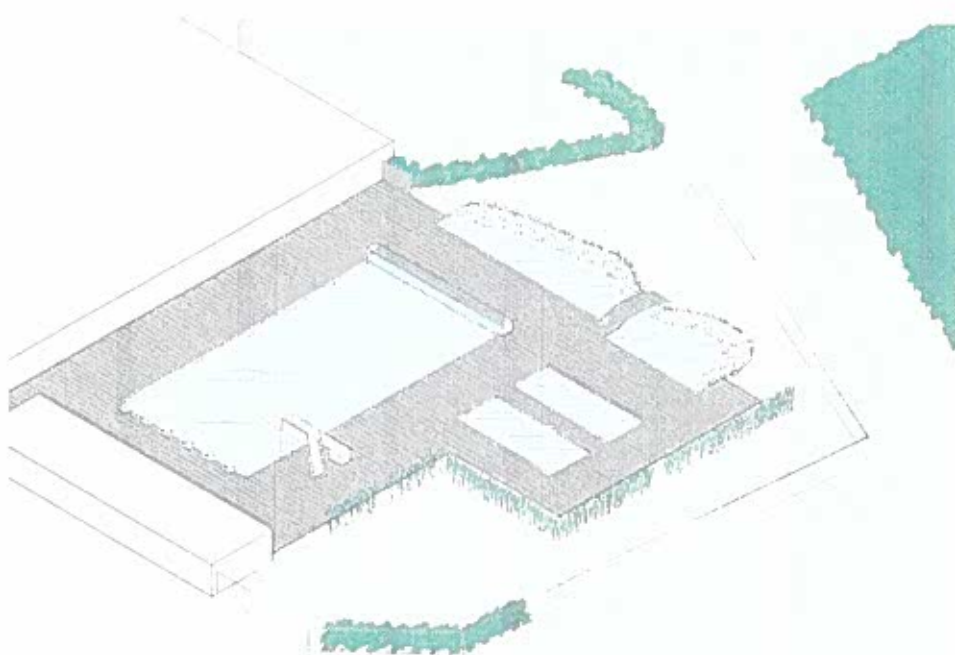
Det eksisterende traditionelle vandrensningsanlæg med klor udskiftes til et anlæg med biologisk vandrensning, hvor filteranlægget er adskilt fra badebassinerne (et ex situ filteranlæg). Det biologiske vandrensningsanlæg består af en skimmersø på 300 m<sup>2</sup> med kant vegetation, samt 300 mikrobiologiske filtre, der er placeret i bunden af skimmersøen. De mikrobiologiske filtre har en kapacitet på 5-10 m<sup>3</sup> pr. døgn. pr. filter. Svarende til en samlet kapacitet på 1.500 – 3.000 m<sup>3</sup> vand pr. døgn.

Fra de mikrobiologiske filtre pumpes det rensende badevand ud i de 3 bassiner via 12 pumper hver med en kapacitet på 16 m<sup>3</sup>/t svarende til en samlet kapacitet på ca. 4600 m<sup>3</sup> pr. døgn. Udpumpningen i det dybe bassin sker gennem 10 dyser placeret langs med den nordlige kant. Udpumpningen i de 2 lavtvandsbassiner sker gennem 2 dyser placeret midt i den nordlige kant. Ved udpumpningsdyserne indbygges mulighed for opvarmning af badevandet.

Fra det store bassin løber 2/3 del af badevandet i nyanlagte kanaler til de to lavtvandsbassiner og herfra videre i kanaler tilbage til skimmersøen. Den øvrige del af badevandet ledes direkte fra det store bassin til skimmersøen.

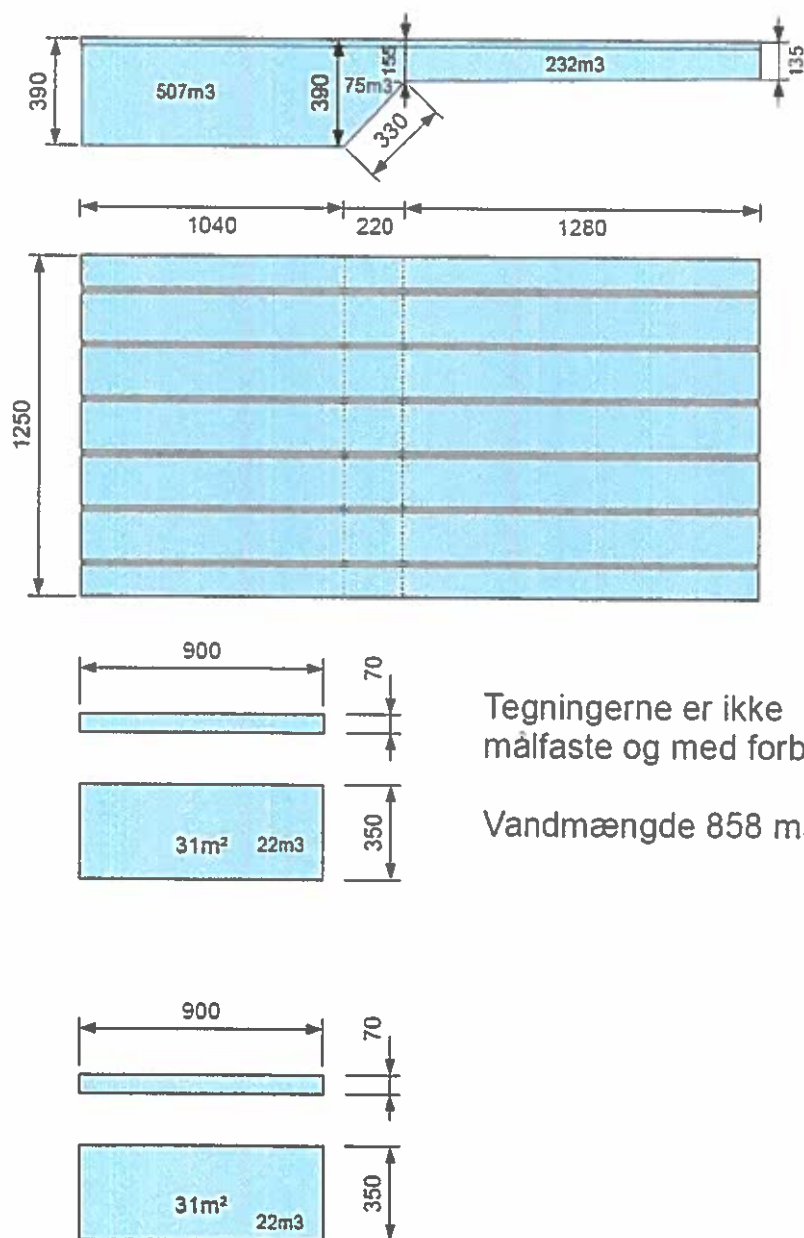
For at sikre et lavt indhold af fosfor recikuleres en del af vandet i skimmersøen gennem 2 fosforfiltre.

Der spædes op med drikkevand, som tilledes gennem fosforfilteret.



Figur 1. Skitse af svømmesøen efter ombygningen





Figur 3 Opmåling af bassiner (alle mål er i cm)

#### Fremtidig badebelastning

Ruds Vedby Friluftsbad har i dag ca. 200 - 300 besøgende pr. dag og enkelte dage op til 400 besøgende pr. dag, hvilket de gerne vil forsætte med fremadrettet.

I Tyskland er der gennem en årrække etableret badeanlæg med exsitu biologisk rensning og der er udarbejdet retningslinier for dimensioneringen af disse anlæg (FLL). Dette anlæg er dimensioneret på grundlag af denne FLL fra 2011.



Naturstyrelsen har i brevet til Sorø Kommune af 25 juni 2013 tilkendegivet, at de anser de tyske retningslinier for beregning af badebelastningen i anlæg med exsitu biologisk rensning som videnskabeligt underbygget i forhold til rensning for bakterier.

Ud fra de tyske retningslinier kan den maksimale badebelastning for anlægget i Ruds Vedby beregnes til 403 daglige badegæster, svarende til et vandvolumen på 6 m<sup>3</sup> pr. badegæst pr. dag. Den begrænsende faktor i forhold til antallet af badegæster er fosforindholdet, ikke den mikrobielle filtrering.

Beregningen er foretaget med det beregningsværktøj, som følger med retningslinierne, og udfra følgende forudsætninger:

- Bassin volumen: 860 m<sup>3</sup>
- Antallet af biofiltre: 300 med et flow på mindst 5 m<sup>3</sup>/døgn/filter
- Areal af fosfatfilter: 6 m<sup>2</sup>

Beregningen er vedlagt i bilag 2.

#### Ansøgning om badebelastning på ca. 300 badende pr. dag.

Byggeafdelingen ansøger om dispensation fra svømmebadsbekendgørelsen til at etablere et anlæg med ovenstående dimensioner, men hvor badebelastningen begrænses til gennemsnitligt 300 badende pr. dag, dog med mulighed for på enkelte dage i sæsonen at øge badebelastningen til 400 badende pr. dag. Derved er det muligt at tilgodese friluftsbades behov og samtidigt indbygge en ekstra sikkerhed i forhold de tyske retningslinjer.

#### Håndtering af smitterisiko fra vira og protozoer

Naturstyrelsen gør i brevet af 25 juni 2013 Sorø Kommune opmærksom på at der i sjældne tilfælde kan være risiko for smitte med vira eller protozoer ved badning i badeanlæg uden klordesinfektion, men at der ikke foreligger videnskabelig dokumentation for risikoen. På den baggrund er der udført en risikovurdering for smitte med vira og protozoer i svømmebadsanlæg der kan sammenlignes med biologiske anlæg.

I risikovurderingen fremgår det at det ikke helt kan udelukkes, at der i en svømmesø er en lille forøget risiko for smitte med hepatitis A, rotavirus og giardia i forhold til badning i et veldrevet svømmebad med klor anlæg. Risikoen er dog mindre end risikoen ved badning i almindelige søer og havvand. For norovirus og cryptosporidium er smitterisikoen i en svømmesø, den samme som ved badning i et veldrevet svømmebad med klor anlæg.

Risikoen for infektioner fra bassinvandet er knyttet til fækale uheld eller opkast i bassinvandet.

Smitterisikoen kan minimeres, hvis der er blandt driftspersonalet og brugere er fokus på følgende:

- Ingen adgang for børn under 3 år og andre personer der bruger ble
- Det maks. antal badende pr. dag skal overholdes.

- Driftspersonale, pædagoger, skolelærer og svømmeinstruktører instrueres i vigtigheden af personlig hygiejne i forbindelse med badning i anlægget.
- I tilfælde af fækale uheld og opkast skal badet lukkes øjeblikkeligt og holdes lukket i mindst 2 dage.
- Ved fækale uheld og opkast i badet gennemføres yderligere følgende:
  - Embedslægen informeres om at der har været et fækalt uheld.
  - De opsamlede fækalier eller opkast sendes til analyse for vira og protozoer og hvis de konstateres ved analysen aftales information og forholdsregler med embedslægen

## **Sorø Kommunes vurdering og begrundelse for vilkår**

### **Indretning og drift af svømmesø**

Vandet i kunstige svømmesøer renses på en grundlæggende anderledes måde end bassinvandet i almindelige svømmebadsanlæg. Minimum mængden af vand pr. daglig badende i den kunstige svømmesø skal sikre, at der er en tilstrækkelig fortynding, da vandet ikke desinficeres.

På baggrund af de tyske retningslinjer for dimensionering af badeanlæg med biologisk rensning, begrænses det maksimale antal dagligt badende til 400 personer på enkelte dage og 300 personer pr. dag målt som gennemsnit over en badesæson. Adgangsbegrænsningen sikres ved adgangskontrol.

Funktion og virkemåde af dette system specificeres overfor Miljøafdelingen. Der er ikke fastsat krav til cirkulerende vandmængde pr. time, da cirkulationshastigheden ikke helt kan sammenlignes med svømmebadsbekendtgørelsens krav i bilag 2, fordi de biologiske processer tager længere tid. En forceret cirkulation risikerer at betyde utilstrækkelig tid til de biologiske processer.

Temperaturen i svømmesøen må ikke overskride 23 grader i længere periode, for at forhindre vækst af sygdoms fremkaldende mikroorganismer som beskrevet i Naturstyrelsens notat.

### **Hygiejne og rengøring**

Vilkår for svømmesøen er fastsat ud fra Svømmebadsbekendtgørelsen, Naturstyrelsens notat om kunstige svømmesøer fra 18. september 2012 samt Vejledningen om kontrol med svømmebade.

### **Kvalitets og kontrolkrav til bassinvand**

Vilkårene er sat ud fra Svømmebadsbekendtgørelsen, Naturstyrelsens notat om kunstige svømmesøer fra 18. september 2012, brev fra Naturstyrelsen af 25. juni 2013 samt Vejledningen om kontrol med svømmebade.

For at sikre der kontant er 858 m<sup>3</sup> vand i bassinerne skal vandstanden i bassinerne kontrolleres ugentligt.

Måleprogrammet i vilkår 38 for effektiviteten af vandrensningsanlægget skal godkendes af Miljøafdeling, da antallet af kontrolmålinger over sæsonen afhænger af badevandskvaliteten og sæsonlængden.

Kontrolprogrammet i vilkår 34 er, som forslået i brev fra Naturstyrelsen af 25. juni 2013 udvidet med løbende målinger for virus og protozoer i de første 2 badesæsoner. Kontrolprogrammet skal revideres og godkendes af Embedslægeinstitutionen inden anlæg tages i drift, jf. naturstyrelsens høringsbemærkninger af d. 31. oktober 2014. Målingerne kan udføres af Statens Serum Institut. Samtidigt gennemføres en overvågning af vandbårne sygdomsudbrud i lokalområdet. Den indsamlede viden kan herefter anvendes til at udarbejde et kontrolprogram for virus og protozoer med operationelle grænseværdier.

### **Indretning og drift af vandbehandlingsanlægget**

Vilkårene er sat ud fra Svømmebadsbekendtgørelsen, Naturstyrelsens notat om kunstige svømmesøer fra 18. september 2012 samt Vejledningen om kontrol med svømmebade.

### **Kontrol**

Vilkårene er sat ud fra Svømmebadsbekendtgørelsen, Naturstyrelsens notat om kunstige svømmesøer fra 18. september 2012, brev fra Naturstyrelsen af 25. juni 2013 samt Vejledningen om kontrol med svømmebade.

### **Høring og udtalelser**

Udkast til den 2 årige dispensation d. 18. juni 2014 sendt til udtalelse hos

- Naturstyrelsen, [nst@nst.dk](mailto:nst@nst.dk)

Og til information til

- Sorø Kommune, Fagcenter for Teknik Miljø og Drift, Byggegruppen, Drift, [ejendomscenter@soroe.dk](mailto:ejendomscenter@soroe.dk)
- Schneider Electric, [anne.holm@schneider-electric.com](mailto:anne.holm@schneider-electric.com)
- Morten Asp Hansen, Grontmij, [mortenasp.hansen@grontmij.dk](mailto:mortenasp.hansen@grontmij.dk)

Naturstyrelsen er med mail af d. 31. oktober 2014 kommet med deres bemærkninger. Bemærkningerne er indarbejdet i vilkår 8, 34, 35 og 38.

## **Lovgrundlag**

### **Afgørelsen**

Afgørelsen omfatter etablering og drift af en svømmesø. Vilkårene i afgørelsen er stillet ud fra vilkår defineret i Bekendtgørelse nr. 623 af 13. juni 2012 om svømmebadsanlæg m.v. og disses vandkvalitet, Naturstyrelsens notat om kunstige svømmesøer fra 18. september 2012, brev fra Naturstyrelsen af 25. juni 2013 samt Vejledningen om kontrol med svømmebade.

### **Tilsyn med virksomheden**

Sorø Kommune er tilsynsmyndighed, og har ret til på ethvert tidspunkt at kontrollere, at vilkårene i den 2-årige dispensation er overholdt.

### **Klage og søgsmål**

Afgørelsen kan ikke påklages til anden administrativ myndighed.

Hvis afgørelsen ønskes indbragt for domstolene, skal det ske inden 6 måneder efter modtagelsen af afgørelsen, jf. § 101 i Miljøbeskyttelsesloven.

Sorø Kommune har underrettet følgende om afgørelsen:

- Sorø Kommunedriftsafdelingen , Ejer af Ruds Vedby Fri-luftsbad
- Rådgiver for Sorø Kommune, Schneider Electric, (anne.holm@schneider-electric.com)
- Rådgivende ingeniør fra Grontmij (mortenasp.hansen@grontmij.dk)
- Embedslægeinstitutionen (sst@sst.dk)
- Naturstyrelsen ([nst@nst.dk](mailto:nst@nst.dk))
- Ruds Vedby vandværk, [rvvand@mail.dk](mailto:rvvand@mail.dk)

## Bilag 1

### Krav til infotavle

Baderegler iht. vejledning om kontrol med svømmebade samt Naturstyrelsens skærpede krav til svømmesøer

1. Info om, at denne svømmesø renses ved biologiske metoder. Vandet bliver ikke desinficeret, og der er derfor forhøjet infektionsrisiko forbundet med at bade i svømmesøen
2. Info om at svømmesøen højst må benyttes af 400 personer om dagen, men højst 300 i gennemsnit pr. åbningsdag
3. Af hensyn til hygiejnen må følgende ikke benytte svømmesøen:
  - Børn under 3 år (blebørn) og andre personer der bruger ble
  - Mennesker med smitsomme sygdomme eller sår (eksempelvis diarræsygdomme, forkølelse, ondt i halsen, øjenbetændelse, ørebetændelse, ringorm og betændelse i huden)
  - Hunde og andre dyr
4. Mennesker med nedsat immunforsvar bør ikke benytte svømmesøen på grund af forhøjet infektionsrisiko.
5. Personer med fodvorter eller fodsvamp må kun benytte badeanlægget, såfremt de er under behandling for den pågældende sygdom.
6. Toilet skal benyttes inden afvaskningen.
7. Anvendelse af badebassiner må kun finde sted efter omhyggelig indsæbning af hele kroppen og efterfølgende brusebad uden badetøj på. Anvendte hudlotion, hårspray og lignende skal på samme måde afvaskes før anvendelse af svømmesøen.
8. Efter toiletbesøg skal der foretages afvaskning på ny.
9. Anvendt badebeklædning skal være ren.
10. Udendørs fodtøj må ikke bruges på barfodsarealer.
11. Der må ikke medbringes madvarer eller henkastes affald i eller i nærheden af svømmesøen.

Ved svømmebade med sauna

12. Efter brug af sauna skal der igen foretages afvaskning uden badetøj på før badning i bassinerne.

## Bilag 2

### Beregning af badebelastning

Bezeichnung: Ruds Vedby Naturbad, Version 02  
 Planungsbüro: Polyplan GMBH  
 Bauherr: Soro Kommune  
 Bearbeitungsstand: 01.02.2013  
 Bearbeiter: S. Bruns  
 Leistungsphase: Vorentwurf

Fällwasser	Becken
Volumenstrom $V_{FW}$ : 10 m³/Tag	Fläche $A_B$ : 700 m²
Konzentration $C_{FW}$ unversäuert: 30 µg/l	Volumen $V_B$ : 860 m³

#### Wasseraufbereitung im Nutzungsbereich (in situ)

Nr.	Art	Volumenstrom (m³/Tag) $V_{nut} = V_{anlag}$	E.coli Eliminationsrate $El_{WA-E.coli}$	Phosphor Eliminationsrate $El_{WA-P}$	Beschickungshöhe (m³/m²/Tag) $Q_{nut}$
WA-1	Zooplancton	24,4 m³/Tag	1	0,01	0,04 m³/m²/Tag

#### Wasseraufbereitung im Aufbereitungsbereich (ex situ)

Nr.	Art	Fläche (m²) $A_{an}$	Volumenstrom (m³/Tag) $V_{anlag}$	E.coli Eliminationsrate $El_{WA-E.coli}$	Phosphor Eliminationsrate $El_{WA-P}$	Beschickungshöhe (m³/m²/Tag) $Q_{an}$
Substrfilter unbespült gem. Tab. 13/14						
WA-e-1	Einschüßler vertikal durchströmt, dauernd vollständig überstaut	300 m²	1500 m³/Tag (-500)	0,95	0,15	5 m³/m²/Tag
weitere Wasseraufbereitungsanlagen						
WA-e-2*	P-Adsorptionsanlage Anschluß mit WA-e-1	6 m²	600 m³/Tag	0	0,5	100 m³/m²/Tag

#### Sonstiges (Bedingungen)

Minderungsfaktor für außergewöhnliche Belastungen: 0%  
 Begründung:



\*Achtung: Es ist ein Nachweis über die Funktionsfähigkeit der Wasseraufbereitung notwendig  
 Berechnungsgrundlage: FLL-Richtlinien für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von Freibädern mit biologischer Wasseraufbereitung (Schwimm-/Badeleiche)\*

Datename: FLL-version 02

Seite 1



Bezeichnung: Ruds Vedby Naturbad, Version 02  
Planungsbüro: Polyplan GMBH  
Bauherr: Soro Kommune  
Bearbeitungsstand: 01.02.2013  
Bearbeiter: S. Bruns  
Leistungsphase: Vorentwurf

#### Ergebnis

Wasservolumen pro Badegast: 5,67 m<sup>3</sup>/Bg Reinwasser-Volumenstrom: 3,81 m<sup>3</sup>/Bg Umwälzrate: 2,48 /Tag

Anzahl der Badegäste bezüglich Pges-P	403Bg/Tag
Anzahl der Badegäste bezüglich Ecoli	441Bg/Tag
Anzusetzender kleinerer Wert	403Bg
Minderung 0 %	0Bg
Nennbesucherzahl	403Bg

Unterschrift Bauherr

Unterschrift Planer



\*Achtung: Es ist ein Nachweis über die Funktionsfähigkeit der Wasseraufbereitung notwendig  
Berechnungsgrundlage: FLL-Richtlinien für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von Freibädern mit biologischer Wasseraufbereitung (Schwimm-/Badeteiche)\*

Datenname: FLL-version 02

Seite 2

### Bilag 3. Udkast til ansøgning om tilladelse til recirkulering af gråvand hos Sofiebadet

### **Bilag 3. Udkast til ansøgning om tilladelse til recirkulering af gråvand hos Sofiebadet**

#### **Ansøgningsudkast**

Til rette vedkommende

Hermed ansøger Sofiebadet, Sofiegade 15A, 1418 København K. om tilladelse til at forsyne badets toiletter og vaskemaskiner samt rengøringstaphane med gråvand opsamlet fra afløb i bade-området samt fra håndvaske. Inden genbrug af gråvandet underkastes det en rensning et DPF-gråvandstårn opstillet i Sofiebadets kælder, efter den nedenfor beskrevne plan for installation, indkøring af renselanlæg og dokumentation af vandkvalitet. Der søges om tilladelse efter § 21, stk. 1 i Vandforsyningsloven.

Sofiebadet er et offentligt bad, anlagt i 1907. Badet blev lukket i 1997, men efter en fredning i år 2000 fik Foreningen af Sofiebadet en varig lejekontrakt med Københavns Ejendomme, og har siden stået for istandsættelse og drift af badet. Badet har plads til op til 26 gæster af gangen, og har et gennemsnitligt vandforbrug på ca. 7,3 m<sup>3</sup> døgnet, hvoraf ca. 5,5 m<sup>3</sup> går til forsyning af badene. Sofiebadet drives efter en filosofi om bæredygtig håndtering af ressourcer, og forsøger kontinuerligt at reducere energi-, vand- og kemikalieforbrug. Der er således installeret varmegenvindingsanlæg og regnvandsopsamlingsstank, og alle forbrugte sæber, rengøringsmidler m.v. er svanemærkede, ligesom gæsterne ikke må medbringe egne produkter i badene.

Forbruget af vand til toiletter, tøjvask og rengøring er i gennemsnit ca. 1,5 m<sup>3</sup> pr. døgn.

Hvis ansøgningen imødekommes vil Sofiebadet kunne reducere vandforbruget med ca. 20 %.

#### **Installation**

Princippet i installationen ses i figuren nedenfor. Installationerne gennemføres efter DS 1717 om forholdsregler til sikring af drikkevand i vandinstallationer samt generelle krav til tilbagestrømsikring.

Produktion af rensset gråvand: 1, 5 m<sup>3</sup>/d

Gråvandstank, vol: 1,5 m<sup>3</sup>, opholdstid ca. 1 døgn

Badevandet opsamles fra gulvafløb i badeområdet og ledes via gravitation gennem eksisterende rør til gråvandstank placeret i kælderen. Vand fra håndvaske ledes på tilsvarende vis til gråvandstanken. Vand fra rengøring af bade og håndvaske havner også i tanken. Gråvandstanken har overløb til kloak.

Fra gråvandstanken pumpes gråvandet til øverste boks i DPF-gråvandstårnet.

DPF-gråvandstårn, vol.: 0,8 m<sup>3</sup>, opholdstid ca. 2,5 t

Gråvandet renses i et DPF-gråvandstårn. Renseteknologien DPF-gråvand er udviklet og dokumenteret i regi af MUDP-projekt med journalnummer NST-404-00203, for en 1,8 m høj prototype bestående af 8 bokse á ca. 90 L. I DPF-gråvandstårnet løber vandet i et zig-zag-mønster gennem tårnet fra øverste til nederste boks. Den øverste boks er indrettet til forfilter for fjernelse af hår og større partikulære bestanddele, mens de efterfølgende bokse er udstyret med et antal renselag, der sikrer hæfte for biofilm, plads til akkumulering af sediment og forsyning med ilt. Opholdstiden i hver boks styres ved hjælp af timerkontrollerede ventiler, der åbner og lukker for indløbsventil i den ene boksgavl og udløbsventil i den modsatte boksgavl. Opfyldning, behandling og dræning af en boks varer i alt ca. 15 min. Der henvises til MUDP-rapporten, kapitel 7, for yderligere beskrivelse af funktion.

For at optimere rensningen planlægges følgende ændringer: 1) der benyttes længere bokse, 2) der placeres et ekstra renselag i hver boks, 3) der sikres fuld dræning af hver boks, og 4) nederste boks indrettes til efterpolering. Der planlægges således opstillet et DPF-gråvandstårn med 9 bokse á 100 L, 6 renselag i hver boks, dræn placeret i bund af boks, og med følgende indretning:

- Boks 1: Forfilter. Indrettes med netrulle til hårfang og lamelplader til sedimentfangst, på samme måde som beskrevet i MUDP-rapporten, afsnit 7.4.1.
- Boks 2, 3, 4, 5, 6, 7 og 8: Indrettes med 6 renselag, der hver består af tre lag (nedefra): Icopalplade med nedadvendte huller, dobbeltlag af Enkamatmåtte, og Icopalplade med opadvendte hulrum. Se yderligere i MUDP-rapporten, afsnit 7.4.1 og 7.4.5.
- Boks 9: Indrettes til efterpolering og fyldes ikke med renselag men med et klassisk filtermateriale bestående af sand, eller evt. sand iblandet pH-sænkende materiale som spagnum, og fosfatfjernende materiale som jernspåner, som vandet perkolerer igennem. Efterpoleringen skal frafiltrere evt. løsrevet biofilm, sikre yderligere reduktion af mikroorganismer, evt. sænke pH, der i forsøgskørslen lå mellem 7,8 og 8,2, og evt. fjerne fosfor, der lå omkring 0,1-0,2 mg/L. Beslutning om fyldmateriale til Boks 9 træffes under indkøring. Se yderligere i MUDP-rapporten, afsnit 7.4.5.

Renseprocesserne i DPF-gråvandstårnet er dermed baseret på fangst af hår i net, sedimentation af partikler, aerob mikrobiel nedbrydning af organisk materiale, samt sandfiltrering.

Efter DPF-gråvandstårnet opsamles vandet i en pumpebrønd, hvorfra vandet pumpes til rentvandstanken. I indkøringsfasen løber det rensede vand til kloak.

#### Rentvandstank (nyttetank), 5 m<sup>3</sup>

Som rentvandstank benyttes den allerede eksisterende udendørs, nedgravede regnvandstank, der har et volumen på 5 m<sup>3</sup>, og er udstyret med overløb til kloak, og som i dag benyttes til forsyning af toiletter, og har godkendt sikring mod sammenblanding med vandværksvand.

Det rensede gråvand fra DPF-gråvandstårnet pumpes via nyt rør til regnvandstanken.

Det nødvendige maksimale volumen til forsyning af toiletter og vaskemaskiner er estimeret til 3 m<sup>3</sup>, hvorved tanken rummer vand nok til opstart mandag morgen og til forsyning også i spidsbelastningssituationer. Regnvand kan fortsat ledes til tanken.

#### UV-bestråling

Efter rentvandstanken sendes vandet gennem UV-bestråling før vandet sendes til toiletcisterner og vaskemaskine og særlig taphane beregnet til rengøring.

#### Rengøringsstaphane

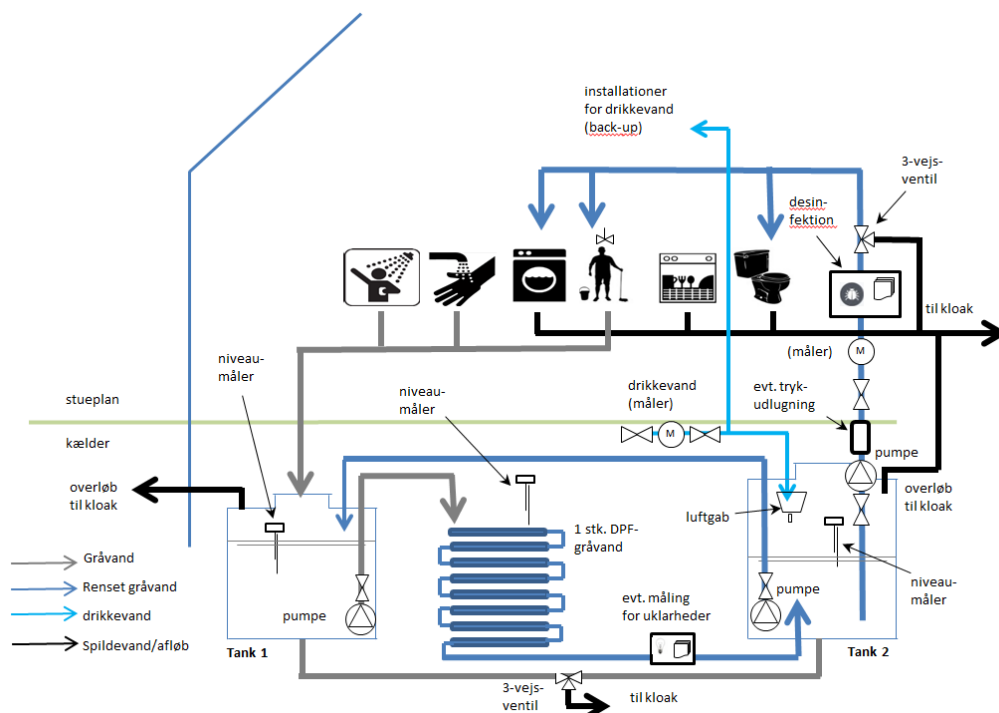
Rengøringsshanen placeres lavt, ca. 1 m over gulvhøjde, i et område afskærmet for badegæsterne, og tydeligt markeret med skilt om at der er tale om genbrugt vand, der ikke må drikkes.

#### Installationer til prøvetagning og overvågning

Der installeres taphaner til prøvetagning af vand på følgende steder:

- Indløb til Boks 1 (ubehandlet gråvand, efter gråvandstank)
- Udløb fra Boks 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 og 9
- Udløb fra rentvandstank
- Efter UV-behandling.

Der installeres desuden en gennemløbskar til online monitorering af vandkvalitet. Gennemløbskarret placeres mellem DPF-gråvandstårn og pumpebrønd. I udgangspunktet instrumenteres karret med en turbiditetsmåler, en iltmåler og en pH måler. Der kan suppleres med bakterie-måler, hvis passende sonde kan skaffes.



Principskitse over installation af DPF-gravandsteknologi til rensning lyst gråvand fra bade, håndvaske og rengøring til forsyning af toiletter og vaskemaskiner.

### Prøvetagningsprogram til dokumentation for vandkvalitet i indkørings- og driftsfase

Dokumentationen af vandkvalitet baseres på analyse af vandprøver udtaget ved taphaner. Funktionen af online monitoring er at tilvejebringe kontinuerte målinger, der beskriver stabiliteten af anlægget, og derudover at fungere som overvågning i driften af anlægget, herunder beslutning om evt. midlertidigt stop af anlæg.

Program for prøvetagningsfrekvens og analyseparametre skal endeligt aftales med og godkendes af Københavns Kommune. Efter en indkøringsfase på forventet 3 måneder skal Københavns Kommune godkende at det rensede vand må blandes med opsamlet tagvand og benyttes til forsyning af toiletcisterner, tøjvaskemaskiner og rengøring, efter UV-behandling.

Prøvetagningsprogram er identisk i indkørings- og driftsfase. Der er tale om et basisprogram baseret på udvalgte taphaner. Øvrige taphaner kan tages i brug, hvis der kampagnevis skal foretages mere detaljerende undersøgelser.

Prøvetagningssteder indkøringsfase (4 prøver): Indløb Boks 1, udløb Boks 4, 8 og 9.

Prøvetagningssteder driftsperiode (5 prøver): Indløb Boks 1, udløb Boks 4, 8 og 9, samt efter UV-behandling.

Efter en længere stabil driftsperiode, f.eks. 6 måneder, kan prøvetagningsstederne reduceres til efter Boks 9 og efter UV-behandling. Desuden kan følgende daglige målinger på prøver fra taphaner erstattes af on-line målinger: temperatur, turbiditet, pH, EC, iltmætning. Tilsvarende kan ugentlige analyser reduceres til de mikrobiologiske parametre, evt. blot udvalgte. Dette skal ske efter aftale Københavns Kommune.

Forslag til analyseparametre, analysemetode og krav er opstillet i tabellen nedenfor. Begrundelser er dels anført i tabellen, dels i tabelnoter.

**Tabel:** Forslag til prøvetagningsprogram til dokumentation af vandkvalitet i indkørings- (4 prøvetagningssteder) - og driftsfase (5 prøvetagningssteder). Parameter i fed refererer til Drikkevandsbekendtgørelsen (BEK). i.m. = ikke målelig.

Parameter	enhed	Krav til vandkvalitet efter Boks 9 i DPF-gråvandstårn	Krav til vandkvalitet efter UV	Frekvens	Metode	Begrundelse
<b>Lugt<sup>1)</sup></b>		Ingen afvigende lugt	Ingen afvigende lugt	Dagligt	Lugt til prøven	BEK
<b>Turbiditet</b>	FTU	0,3	1	Dagligt	DS/EN ISO 7027(DS290)	BEK
<b>pH</b>		7 – 8.5	7 – 8.5	Dagligt	DS/EN ISO 7027(DS290)	BEK
<b>Ledningsevne, EC<sup>3)</sup></b>	mS/m	30 - 50	30 - 50	Dagligt	DS 288	BEK og DHI-anbefaling
<b>Oxygen opløst, O<sub>2</sub><sup>4)</sup></b>	mg/L	min. 5	min. 5	Dagligt	DS 2205:1990, Metodetablad for opløst oxygen	BEK
<b>Inddampningsrest/tørstof</b>	mg/L	1500	1500	Ugentligt	DS 204:1980	BEK
<b>Ammonium-N<sup>5)</sup></b>	mg/L	0,05	0,05	Ugentligt	DS 224,MOD, metodeblad	BEK
<b>Nitrit-N<sup>5)</sup></b>	mg/L	0,1	0,1	Ugentligt	DS/EN 26777 (DS 222,mod), metodeblad	BEK
<b>Total-P<sup>5)</sup></b>	mg/L	0,15	0,15	Ugentligt	Metodeblad 012	BEK
<b>Anioniske detergenter<sup>6)</sup></b>	µg/L	100	100	Ugentligt		BEK
<b>DEHP<sup>6)</sup></b>	µg/L	1	1	Ugentligt		BEK
<b>Kimtal 22 °C</b>	pr. ml	10.000	20	Ugentligt	DS/EN ISO 6222	BEK
<b>Kimtal 37 °C</b>	pr. ml	10.000	200	Ugentligt	DS/EN ISO 6222	BEK
<b>Total coliforme<sup>7)</sup></b>	pr. 100 ml	-	i.m.	Ugentligt		BEK
<b>E. coli<sup>7)</sup></b>	Pr. 100 ml	-	50	Ugentligt	DS/EN ISO 9308-1:2001 DS/EN ISO 9308-3:1999 (Mikrotiterplate)	BEK
<b>Clostridium perfringens, herunder sporer<sup>7)</sup></b>	Pr. 50 ml		i.m.			BEK

- 1) Vandet må ikke have en afvigende lugt. Der lugtes til prøven, men i et andet rum end der hvor gråvandet opbevares, da det kan give en forstyrrende baggrundslugt.
- 2) Ifølge Drikkevandsbekendtgørelsen bør temperaturen ikke overstige 12 °C ved indgang til ejendom. Fra Boks 9 vil vandet have samme temperatur som kælderen, dvs. op omkring 30 °C om sommeren. Efter UV vil temperaturen afhænge af vandets opholdstid i udendørs, nedgravet tank. Ved en lav temperatur undertrykkes mikrobiel vækst. Desværre betyder nedkøling i udendørs tank at der ikke kan spares energi på opvarmning af vandet ved brug til tøjvask.
- 3) Ledningsevne skal i drikkevand være mindst 30. Ifølge erfaringstal fra industrivaskerier oplyser DHI at ledningsevnen ikke bør overstige 50 (se afsnit 9.1.2)
- 4) Indhold af ilt er ikke afgørende for brug af vandet til tøjvask, toiletskyl og rengøring.
- 5) Næringsstoffer N og P vurderes at være uden betydning for brug af det rensede vand til toiletskyl og tøjvask, men bør dog holdes lavt for at reducere risiko for eftervækst i rentvandstank, rør og cisterner.
- 6) Drikkevandsbekendtgørelsen stiller en række krav til organiske mikroforureninger (detergenter, phenoler, chlorphenoler, materiale monomerer, metalforbindelser, nitroforbindelser, opløsningsmidler, olieprodukter, PAH forbindelser, PFAS-forbindelser, pesticider, fosfatforbindelser, phtalater, og triazoler). Det foreslås at fokusere på anioniske detergenter, der måske forekommer i sæber, og DEHP, der måske kan udvaskes fra materialerne i DPF-gråvandstårnet.
- 7) Der anføres ikke en maks-grænse efter Boks 9 (før UV-behandling), da et indhold af disse bakterier ikke nødvendigvis er et problem. Efter Boks 9 er det kun kintalsmålingerne der behøver at være fokus på.

### Indkøringsfase & Godkendelse

Inden det rensede vand tages i brug dokumenteres det at vandet overholder kvalitetskrav beskrevet ovenfor. Det forventes at indkøringsfasen varer minimum 3 måneder.

Godkendelse foreslås baseret på overholdelse af krav efter UV-behandling i minimum 6 uger i stræk.

### Løbende Dokumentation

Daglig drift af anlægget består af tilsyn, jf. prøvetagningsprogram beskrevet ovenfor.

Når anlægget er i normal drift følges prøvetagningsprogrammet som beskrevet i tabel ovenfor.

Hvis kvaliteten af de daglige prøver (lugt, turbiditet, pH, EC, iltindhold) af udløbsvand fra Boks 9 ikke overholder krav, pumpes vandet ikke til rentvandstanken, men afledes til kloak, indtil problemet er løst og vandkvaliteten baseret på daglige målinger igen er OK.

Hvis kvaliteten af de ugentlige prøver af vand efter UV-behandling ikke overholder krav indstilles forsyning med vand fra rentvandstanken, og der forsynes i stedet med vandværkswand.

Før anlægget igen kan tages i brug skal der dokumenteres tilfredsstillende vandkvalitet i minimum 3 uger i stræk.

### Drift af anlæg

Til orientering oplyses her om drift af anlægget. Dette anses ikke som del af ansøgningen.

En gang månedligt skal Boks 1 tilses, og hårfilter udskiftes eller renses.

En gang månedligt skal Boks 2-8 fornyes. Det foregår ved at Boks 2 pilles ud, Boks 3-8 løftes op, og rengjort ekstraboks indsættes som ny Boks 8. Boks 2 rengøres, så den er klart il at gå ind som ny Boks 8 næste måned.

En gang hver 6. måned skal Boks 9 fornyes. Det foregår ved at ekstraboks med nyt filtermateriale indsættes. Brugt Boks 9 fornyes ved at kassere øverste lag filtermateriale, og efterfylde med frisk filtermateriale, så boksen er klar til næste skift. Brugt hårfilter bortskaffes ved dagrenovation. Brugt filtermateriale bortskaffes som haveaffald til genbrugsplads.

### Yderligere parametre til dokumentation af DPF-gråvandstårnets funktion

Til orientering oplyses her om yderligere parametre, der planlægges monitoreret af hensyn til videre dokumentation af DPF-anlæggets funktion. Dette anses ikke som del af ansøgningen.

Temperatur ønskes målt for at kunne dokumentere årsvariation i temperatur i udendørs opbevaringstank.

Suspenderet stof ønskes målt for at dokumentere sedimentationsfunktion.

Enterokokker og pseudomonas foreslås monitoreret eftersom disse er inkluderet i måleprogrammet for Ruds Vedby Friluftsbad og derfor vil være relevante i det tilfælde, at det rensede gråvand i fremtiden skal genbruges til badevand.

Parameter	enhed	Krav til vandkvalitet efter Boks 9	Krav til vandkvalitet efter UV	Frekvens	Metode	Begrundelse
Temperatur <sup>2)</sup>	°C	intet	intet	Dagligt	Termometer	
Suspenderet stof <sup>4)</sup>	mg/L	5	5	Ugentligt	DS/EN 872 (DS 207 )	DPF-gråvands-DOK
Enterokokker <sup>6)</sup>	pr. 100 ml	-	50	Ugentligt	DS/EN ISO 7899-2:2000	BEK & DPF-gråvands-DOK
Pseudomonas aeruginosa <sup>8)</sup>	pr. 100 ml	-	50	Ugentligt <sup>5)</sup>	DS/EN ISO 16266:2008	DPF-gråvands-DOK



## Bilag 4. Spørgeskema Folehaven

# Folehaven, Spørgsmålene

Velkommen til vores spørgeskema og tak fordi du tager dig tid til at svare!

Spørgsmålene handler om din holdning til at genbruge vand. Svarene fra Folehaven og andre steder indgår i et forskningsprojekt ved Københavns Universitet. Det skal understreges at der ikke er nogen planer om at ændre vandforsyningssystemet i Folehaven gennem dette projekt.

Det tager ca. 15 minutter at besvare spørgsmålet. Du skal være mindst 18 år for at besvare spørgsmålet. Hvis der er flere personer over 18 år, der ønsker at besvare spørgeskemaet, kontakt da venligst PhD-studerende Bimala Prajapati på email [bpraj@ign.ku.dk](mailto:bpraj@ign.ku.dk), som så vil sende flere skemaer frem.

Dine svar behandles 100 % fortroligt og anonymt. De vil blive grupperet sammen med øvrige svar sådan at der kan foretages sammenligninger og generelle trends kan findes. Svarene vil kun blive brugt til denne undersøgelse.

Spørgeskemaet er uddelt til ca. 100 lejligheder i Folehaven. Du er med i lodtrækning om to gavekort på 500 kr. til Coop. Vinderne vil modtage gavekortet med posten umiddelbart efter at undersøgelsen lukker for besvarelser den 15 November 2015.

Du kan sende din besvarelse til os på tre måder:

- 1) ved at benytte den frankerede svarkuvert
- 2) ved at sende en mail til PhD-studerende Bimala Prajapati: [bpraj@ign.ku.dk](mailto:bpraj@ign.ku.dk), hvor du vedhæfter et foto eller scan af din besvarelse.
- 3) Ved at benytte følgende link, hvor du kan svare på spørgsmålene direkte:  
<http://goo.gl/forms/SFnrCPJJx5>

Spørgeskemaet starter på næste side.

\* Required

## Baggrundsspørgsmål (sæt kryds)

### 1. Køn \*

*Mark only one oval.*

☐ Mand

☐ Kvinde

### 2. Alder \*

*Mark only one oval.*

☐ 18-24

☐ 25- 34

☐ 35- 44

☐ 45 - 54

☐ 55- 64

☐ 65- 74

☐ 75 or above

**3. Husholdningens størrelse \***

*Mark only one oval.*

- ☐ 1-3 personer
- ☐ 4-6 personer
- ☐ 7-9 personer
- ☐ 10 eller > 10 personer

**4. Antal personer under 18 år i husholdningen \***

*Mark only one oval.*

- ☐ 0
- ☐ 1-2
- ☐ 3-4
- ☐ Flere end 4

---

Hvis regnvand eller spildevand behandles til en så god kvalitet at det kan genbruges til forskellige forsyningsformål kalder man dette vand for sekundavand. Hvad vandet kan anvendes til afhænger af hvor godt det renses. I denne undersøgelse fokuserer vi på genbrug af gråvand. Gråvand er alt spildevand fra en husholdning, undtagen toiletvandet. Gråvand er altså alt det vand, der forlader din husholdning gennem køkkenvasken, opvaskemaskinen, håndvasken, vaskemaskinen, brusekabinen m.v., bare ikke det fra toilettet. I Danmark lukkes gråvand normalt blot i kloakken.

**5. Har du erfaringer med genbrug af gråvand? \***

*Mark only one oval.*

- ☐ Yes
- ☐ No

---

Besvar kun spørgsmål 6, 7 og 8 hvis du svarede 'ja' i spørgsmål 5. Ellers gå til spørgsmål 8.

**6. Hvis ja, til hvilke formål? (sæt gerne flere kryds)**

Hvis Andet, angiv i ord

*Check all that apply.*

- ☐ Havevanding, vanding af altankasse
- ☐ Toiletskyl
- ☐ Tøjvask
- ☐ Almindelig rengøring
- ☐ Bilvask
- ☐ Personlig hygiejne, badning
- ☐ Madlavning og drikkevand
- ☐ Other: .....

7. **Hvor mange gange genbruger (eller genbrugte) du gråvandet før bortledning?**

Mark only one oval.

- ☐ En gang
- ☐ To gange
- ☐ Mere end to gange

8. **Hvis du bruger (eller brugte) gråvandet mere end en gang, beskriv da venligst hvordan det foregik (systemet fra start til slut)**

.....

.....

.....

.....

.....

9. **Man kan have forskellig holdning til genbrug af gråvand. I hvilken grad er du enig eller uenig med følgende udsagn: “Genbrug af gråvand er vigtigt”? \***

Mark only one oval per row.

	Meget enig	Enig	Hverken enig eller uenig	Uenig	Meget uenig
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10. **Hvis du er enig eller meget enig i at genbrug af gråvand er vigtigt, hvad er da din begrundelse? Nedenfor er anført fire grunde. Skriv 1 ud for den begrundelse du synes er vigtigst, 2 ud for den næstvigtigste osv. Det er også muligt at anføre en helt femte begrundelse. \***

Mark only one oval per row.

	1 - highest priority	2	3	4	5 - lowest priority
Spare på vandet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Beskytte miljøet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Spare penge	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sundhed	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Anden begrundelse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

11. Forestil dig at der er to haner med vand i din bolig, én med almindeligt vandværksvand og én med rensed gråvand. Hvis gråvandet er rensed, så smitstoffer, sygdomsskim, medicinrester og andre forureningsstoffer er fjernet, og myndighederne har godkendt vandet, hvor sandsynligt er det at du ville have lyst til at bruge det rensede gråvand til følgende formål?: \*

Mark only one oval per row.

	Meget sandsynligt	Enig	Hverken enig eller uenig	Uenig	Meget uenig
11.a. Havevanding, vanding af altankasse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11.b. Toiletskyl	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11.c. Tøjvask	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11.d. Almindelig rengøring	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11.e. Bilvask	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11.f. Personlig hygiejne, badning	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11.g. Madlavning og drikkevand	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

12. Genbrug af gråvand kan især være aktuelt hvis der er vandmangel. I hvilken grad er du enig eller uenig med følgende udsagn: "Jeg vil kun bruge rensed gråvand hvis der er vandmangel og kun til følgende formål": \*

Mark only one oval per row.

	Meget enig	Enig	Hverken enig eller uenig	Uenig	Meget uenig
12.a. Havevanding, vanding af altankasse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.b. Toiletskyl	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.c. Tøjvask	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.d. Almindelig rengøring	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.e. Bilvask	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.f. Personlig hygiejne, badning	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.g. Madlavning og drikkevand	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

13. Hvad skulle der til for at du fik mere lyst til at bruge vandet fra gråvandshanen? Nedenfor er der opstillet nogle forskellige forslag. Skriv 1 ud for det forslag, du tror, ville betyde mest for dig, 2 ud for det der ville betyde næstmest og 3 ud for det mindst vigtige. Ellers kryds af i 'ved ikke'. \*

Mark only one oval per row.

	1 - highest rank	2	3 - lowest rank	Ved ikke
Et ekstra filter på hanen med gråvand, så vandet får en ekstra rensning	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Myndigheder og eksperter anbefaler brug af gråvand	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Det er blevet almindeligt at bruge gråvand (one with tap water and another with recycled water)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

14. Har du hørt om genbrug af vand før? \*

Mark only one oval.

- ☐ Ja
- ☐ Nej

15. Hvis ja, hvorfra?

Check all that apply.

- ☐ Aviser, Radio, TV
- ☐ Brochurer/ uddannelsesmateriale
- ☐ Hjemmesider, websites
- ☐ Skolegang, uddannelse
- ☐ Venner, bekendte
- ☐ Other: .....

16. Hvis rensset gråvand blev tilbudt til en betydeligt lavere pris end almindeligt hanevand, hvor sandsynligt er det så at du ville bruge gråvandet til følgende formål? \*

Mark only one oval per row.

	Meget sandsynligt	Enig	Hverken enig eller uenig	Uenig	Meget uenig
15.a. Havevanding, vanding af altankasse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15.b. Toiletskyl	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15.c. Tøjvask	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15.d. Almindelig rengøring	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15.e. Bilvask	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15.f. Personlig hygiejne, badning	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15.g. Madlavning og drikkevand	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

17. Hvordan vil du vurdere din overordnede holdning til at modtage rensset gråvand? \*

Mark only one oval per row.

	Meget positiv	positiv	Usikker	negativ	Meget negativ
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

18. Vaskemaskinerne i Folehavens vaskeri benytter lokalt opsamlet regnvand til at vaske tøj med. Er du tilfreds med kvaliteten af det vand?

Mark only one oval per row.

	Meget tilfreds	Tilfreds	Usikker	Ikke tilfreds	Meget utilfreds
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**19. Har du andre kommentarer omkring genbrug af gråvand?**

.....

.....

.....

.....

.....

**20. Hvilken uddannelse har du?**

*Mark only one oval.*

- ☐ Grundskole 8.-10. klasse (inkl. realskole)
- ☐ Almengymnasial uddannelse (f.eks. gymnasium og HF)
- ☐ Erhvervsgymnasial uddannelse (f.eks. HHX og HTX)
- ☐ Erhvervsuddannelse (f.eks. håndværker, SOSU)
- ☐ Videregående uddannelse (1-2 år, f.eks. Merkonom)
- ☐ Videregående uddannelse (2-4½ år, f.eks. bachelor, lærer, sygeplejerske)
- ☐ Videregående uddannelse (5 år eller længere, f.eks. Cand.merc.)
- ☐ Forskeruddannelse (Ph.d.)
- ☐ Andet
- ☐ Ved ikke

**21. Hvilken indkomstgruppe svarer til din samlede husholdnings indkomst i 2014?**

*Mark only one oval.*

- ☐ Mindre end 200.000 kr.
- ☐ Mellem 200.000 kr. og 400.000 kr.
- ☐ Mellem 400.000 kr. og 600.000 kr.
- ☐ Mellem 600.000 kr. og 800.000 kr.
- ☐ Mellem 800.000 kr. og 1 million kr.
- ☐ Mellem 1 million kr. og 1½ millioner kr.
- ☐ Mellem 1½ million kr. og 2 millioner kr.
- ☐ Over 2 millioner kr.
- ☐ Ved ikke
- ☐ Ønsker ikke at svare

**22. Du er med i en lodtrækning om to gavekort á 500 kr til COOP. Vinderne modtager dette med posten umiddelbart efter at undersøgelsen lukker for besvarelser d. 15. november. Vi har derfor brug for dit navn og din adresse:**

.....

.....

.....

.....

.....

## Bilag 5. Spørgeguide Nepal



## INTRODUCTION

Nepal

Intro I: Hello, my name is Bimala Prajapati and I am from Copenhagen University. We are not selling anything, but I need your help for my research on knowing people's perception on reusing water. May I speak to someone who is 18 years of age or older?

1. R is 18 yrs of age or older → Intro II
2. R 18 yrs + is coming to meet → repeat intro I
3. Nobody in HH 18 yrs + is there at the moment → next HH

Intro II: We are here to find out what residents think about water issues. This information will help gather information on public perception and barrier on water reuse and know the possibility of implementing recycled water in future. Your feedback will be made available to decision makers and all your answers are voluntary and confidential.

### Demographic questions

1. Gender  
☐ Male ☐ Female
2. Age:  
☐ 18-20  
☐ 21- 30  
☐ 31- 40  
☐ 41 - 50  
☐ 51- 60  
☐ 61- 70  
☐ 71 or above
3. House hold member size:  
☐ 1-3  
☐ 4-6  
☐ 7-9  
☐ >10
4. Number of Children under 18 in the household  
☐ 0  
☐ 1-2  
☐ 3-4  
☐ Above 4

Waste water, when treated to some standard sufficient enough to be used for secondary purpose is called recycled water. Its use depends on quality of treatment. In this study we will focus only on reusing recycled greywater. Greywater is household waste water excluding toilet flushing water. So, all water that comes out from your house like water from: showering, hand basin, kitchen sink, laundry etc. is grey water.

1. Are you recycling/ reuse greywater to use it for more than one time use?  
☐ Yes ☐ No

If yes for what purpose? (*more than one option is allowed*)

- ☐ Gardening/ Irrigation
- ☐ Toilet flushing
- ☐ Laundry
- ☐ Cleaning
- ☐ Bathing/ Personal hygiene
- ☐ Cooking and drinking
- ☐ Others - If "Others", please specify in few words: .....

Answer question no 2 and 3 only if you ticked 'yes' to question no 1. Otherwise go to question no 4.

2. How many times do you recycle/ reuse greywater before it is disposed?

- ☐ 1 time
- ☐ 2 time
- ☐ More than two times

3. You stated that you use greywater for more than one time. Please tell me how you normally use it for from first till the end? Open question.

4. People can have different opinions regarding recycling greywater. To what degree do you agree or disagree in the statement: "Recycling greywater is important"?

- ☐ Strongly Agree
- ☐ Agree
- ☐ Neither/nor
- ☐ Disagree
- ☐ Strongly Disagree

If you agree recycling is important, what are your reasons? Please rank the following options from 1 to

5. Give 1 to your highest priority and 5 to lowest priority.

- ☐ Water saving
- ☐ Environment protection
- ☐ Saves money
- ☐ Health reason
- ☐ Mention others if any.....

5. There are different opinions on using greywater for toilet flushing. To what extend do you agree or disagree with following statements.

A. Some places people are using recycled greywater for toilet/ urinal flushing or garden watering. To what extend do you agree or disagree with the statement 'I do not have problem to use recycled greywater for:

a. Gardening/ Irrigation

- ☐ Strongly Agree
- ☐ Agree
- ☐ Neutral
- ☐ Disagree
- ☐ Strongly Disagree

b. Toilet flushing

- ☐ Strongly Agree
- ☐ Agree
- ☐ Neutral
- ☐ Disagree
- ☐ Strongly Disagree

c. Laundry

- ☐ Strongly Agree
- ☐ Agree
- ☐ Neutral
- ☐ Disagree
- ☐ Strongly Disagree

d. Cleaning

☐ Strongly Agree ☐ Agree ☐ Neutral ☐ Disagree ☐ Strongly Disagree

e. Bathing/Personnel hygiene

☐ Strongly Agree ☐ Agree ☐ Neutral ☐ Disagree ☐ Strongly Disagree

f. Cooking and drinking

☐ Strongly Agree ☐ Agree ☐ Neutral ☐ Disagree ☐ Strongly Disagree

B. People may be concerned about getting sick by using recycled greywater for toilet/ urinal flushing.  
What do you think about this statement 'I am concerned about people getting sick from using recycled greywater for:

a. Gardening/ Irrigation

☐ Strongly Agree ☐ Agree ☐ Neutral ☐ Disagree ☐ Strongly Disagree

b. Toilet flushing

☐ Strongly Agree ☐ Agree ☐ Neutral ☐ Disagree ☐ Strongly Disagree

c. Laundry

☐ Strongly Agree ☐ Agree ☐ Neutral ☐ Disagree ☐ Strongly Disagree

d. Cleaning

☐ Strongly Agree ☐ Agree ☐ Neutral ☐ Disagree ☐ Strongly Disagree

e. Bathing/Personnel hygiene

☐ Strongly Agree ☐ Agree ☐ Neutral ☐ Disagree ☐ Strongly Disagree

f. Cooking and drinking

☐ Strongly Agree ☐ Agree ☐ Neutral ☐ Disagree ☐ Strongly Disagree

6. If greywater was recycled to a standard where pathogens, pharmaceuticals and other contaminants were removed, to what degree would you consider the following uses in your household?

a. Gardening/ Irrigation

☐ Very likely ☐ likely ☐ Neither/nor ☐ Unlikely ☐ Very unlikely

b. Toilet flushing

☐ Very likely ☐ likely ☐ Neither/nor ☐ Unlikely ☐ Very unlikely

c. Laundry

☐ Very likely ☐ likely ☐ Neither/nor ☐ Unlikely ☐ Very unlikely

d. Cleaning

☐ Very likely ☐ likely ☐ Neither/nor ☐ Unlikely ☐ Very unlikely

e. Bathing/ Personal hygiene

☐ Very likely ☐ likely ☐ Neither/nor ☐ Unlikely ☐ Very unlikely

f. Cooking and drinking

☐ Very likely ☐ likely ☐ Neither/nor ☐ Unlikely ☐ Very unlikely

7. People may be using recycled greywater only during water shortage. To what degree do you agree or disagree following statement 'I will only be prepared to use recycled greywater for following purposes during a water shortage'

a. Gardening/ Irrigation

☐ Very likely      ☐ likely      ☐ Neither/nor      ☐ Unlikely      ☐ Very unlikely

b. Toilet flushing

☐ Very likely      ☐ likely      ☐ Neither/nor      ☐ Unlikely      ☐ Very unlikely

c. Laundry

☐ Very likely      ☐ likely      ☐ Neither/nor      ☐ Unlikely      ☐ Very unlikely

d. Cleaning

☐ Very likely      ☐ likely      ☐ Neither/nor      ☐ Unlikely      ☐ Very unlikely

e. Bathing/ Personal hygiene

☐ Very likely      ☐ likely      ☐ Neither/nor      ☐ Unlikely      ☐ Very unlikely

f. Cooking and drinking

☐ Very likely      ☐ likely      ☐ Neither/nor      ☐ Unlikely      ☐ Very unlikely

8. What would make you more confident to use recycled grey water? Please rank following options. Give number 1 to your highest rank and 3 to the lowest rank.

☐ option of having an extra water treatment installation at home to assure quality and water safety

☐ Expert recommendation/ Regulations

☐ Dual pipe system (one with tap water and another with recycled water)

☐ Don't know

9. Have you heard from any medium about using recycled water?

☐ Yes      ☐ No

If yes, from where?

☐ Local newspaper

☐ Radio/Fm

☐ TV

☐ Brochures/ educational leaflets

☐ Websites/ emails

☐ Other sources: .....

10. If the recycled grey water cost lower than drinking water, to what extend will you use it for following purpose

a. Gardening/ Irrigation

☐ Very likely      ☐ likely      ☐ Neither/nor      ☐ Unlikely      ☐ Very unlikely

b. Toilet flushing

☐ Very likely      ☐ likely      ☐ Neither/nor      ☐ Unlikely      ☐ Very unlikely

c. Laundry

☐ Very likely      ☐ likely      ☐ Neither/nor      ☐ Unlikely      ☐ Very unlikely

d. Cleaning

☐ Very likely      ☐ likely      ☐ Neither/nor      ☐ Unlikely      ☐ Very unlikely

e. Bathing/ Personal hygiene

☐ Very likely      ☐ likely      ☐ Neither/nor      ☐ Unlikely      ☐ Very unlikely

f. Cooking and drinking

☐ Very likely      ☐ likely      ☐ Neither/nor      ☐ Unlikely      ☐ Very unlikely

11. How would you overall rate your attitude towards receiving recycled grey water

☐ Very positive      ☐ positive      ☐ Unsure      ☐ negative      ☐ Very negative

12. Do you have some further comment about using recycled grey water?

13. What is your highest education:

- ☐ No education
- ☐ General writing and reading
- ☐ Grade school (1-12)
- ☐ Bachelor's degree
- ☐ Masters degree or higher
- ☐ Refuse/ Don't know

14. Which of the following income group includes your total house hold income in 2014 before tax?

To be Consulted in Nepal



Miljøstyrelsen  
Haraldsgade 53  
2100 København Ø

[www.mst.dk](http://www.mst.dk)